МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

Л. П. КРАЙЗМЕР

Техническая кибернетика



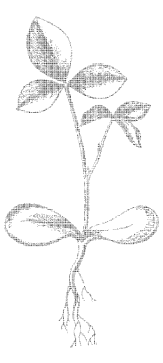
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 542

Л. П. КРАЙЗМЕР

ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Издание второе, дополненное и переработанное







ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 62-50
К 77

Популярно излагаются основные идеи кибернетики как науки об общих принципах управления. Основное внимание уделяется технической кибернетике, в которой рассматриваются вопросы управления техническими процессами и создания искусственных управляющих систем, включающих в себя устройства для восприятия, передачи, хранения и переработки информации. Приводятся элементарные сведения из теории информации, автоматического регулирования и электронных вычислительных машин. Рассматриваются возможности выполнения последними различных логических функций. Описывается значительное количество практических применений кибернетической техники как в области автоматизации управления, учета и планирования, так и в области моделирования физиологических процессов в живых организмах. Во втором издании шире представлены материалы об информационно-логических машинах, преобразователях информации, самоорганизующихся системах и бионических путях совершенствования кибернетической техники.

Рассчитана на подготовленных радиолюбителей и на широкие круги лиц, знакомых с радиоэлектроникой и интересующихся вопросами кибернетики. Для усвоения материала книги вполне достаточна общая подготовка в объеме средней школы.

Крайзмер Леонид Павлович. **Техническая кибернетика** (издание второе, дополненное и переработанное). М.— Л., издательство „Энергия“, 1964. 88 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 542).

Тематический план 1964, № 340.

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *А. А. Тютин*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 20/IV 1964 г. Подписано к печати 2/VII 1964 г.
Т-09951 Бумага 84×108$^{1}/_{32}$ Печ. л. 4,51 Уч.-изд. л. 6,54
Тираж 54 000 экз. Цена 26 коп. Зак. 1211

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Государственного комитета Совета Министров СССР по печати. Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Наше поколение является свидетелем стремительного развития науки и техники. Самые смелые фантазии, еще недавно казавшиеся несбыточными мечтами, воплощаются в жизнь. За последние триста лет человечество прошло путь от простейших паровых машин до двигателей, работающих на атомной энергии, овладело сверхзвуковыми скоростями полета, достигающими нескольких тысяч километров в час. Люди поставили себе на службу энергию огромных рек, создали гигантские землеройные механизмы, заменяющие труд десятков тысяч землекопов. Запуском советских искусственных спутников Земли начался штурм космических пространств вселенной. Величайшими достижениями технической мысли человека являются такие свершения, как многодневные полеты советских космонавтов на кораблях-спутниках по околоземной орбите, как фотографирование обратной стороны Луны, создание маневрирующих кораблей-спутников. Созданы многочисленные приборы и аппаратура, повышающие остроту чувств человека.

Сила человеческого гения не знает границ в познании и подчинении себе природы, в создании все новых и новых машин и аппаратов, облегчающих и заменяющих физический труд человека, колоссально увеличивающих силу его рук, делающих возможным передвижение с огромными скоростями и неизмеримо повышающих остроту его органов чувств.

Однако до самого последнего времени почти все, даже наиболее совершенные, механизмы и приборы предназначались для выполнения весьма разнообразных, но только исполнительных функций. Их конструкция предусматривала всегда более или менее сложное управление, осуществляемое человеком, который должен оценивать внешнюю обстановку, внешние условия, наблюдать за ходом того или иного процесса и соответственно управлять машинами, движением транспорта и т. д. Область умственной деятельности, психики, сфера логических функций человеческого мозга казалась до недавнего времени совершенно недоступной механизации.

Рисуя картины жизни будущего общества, авторы фантастических рассказов и повестей часто представляли дело так, что всю работу будут за человека выполнять машины, а роль человека будет сводиться лишь к тому, чтобы, наблюдая за работой этих машин, нажимать на пульте соответствующие кнопки, управляющие определенными операциями.

Однако современный уровень развития радиоэлектроники позволяет ученым и инженерам ставить и разрешать задачи создания новых устройств, которые освободили бы человека от необходи-

мости следить за производственным процессом и управлять им, т. е. заменили бы собой оператора, диспетчера. Появился новый класс машин — управляющие машины, которые могут выполнять самые разнообразные и часто весьма сложные задачи управления производственными процессами, движением транспорта, водить суда, пилотировать самолеты и т. д. Создание управляющих машин позволяет перейти от автоматизации отдельных станков и агрегатов к комплексной автоматизации конвейеров, цехов, целых заводов.

Теория различных управляющих устройств, точнее говоря, общая математическая теория управления в самом широком смысле слова, оформившаяся за последнее десятилетие в новое самостоятельное научное направление, получила название кибернетики. Слово кибернетика происходит от греческого слова «кибернетес», что означает «рулевой», «кормчий».

В конце прошлого столетия и главным образом в первой половине нынешнего столетия трудами многочисленных отечественных и зарубежных ученых была подготовлена база для создания строгой математической теории общих принципов автоматического регулирования и управления. Достойный вклад в нее внесен такими крупными русскими и советскими учеными, как И. А. Вышнеградский, Л. М. Ляпунов, А. А. Марков, В. С. Кулебакин, А. Н. Колмогоров, А. А. Андронов, В. А. Котельников и др. Важную роль для создания общей теории управления в живых организмах сыграло учение о рефлексах, развитое русскими физиологами И. М. Сеченовым и И П. Павловым и их последователями.

В своем современном виде кибернетика как новое научное направление была оформлена крупным американским ученым-математиком, профессором Массачусетского технологического института Норбертом Винером (1894—1964 гг.), известным своими работами в области анализа, теории вероятностей и случайных процессов.

Результатом глубокого изучения аналогий между процессами управления в технических и биологических системах и синтетического взаимообогащения соответствующих разделов математики, радиоэлектроники и физиологии явилась разработанная Винером общая теория управления, названная им кибернетикой.

В течение последнего десятилетия идеи кибернетики получили широчайшее распространение в нашей стране. Без преувеличения можно сказать, что в СССР кибернетика нашла свою вторую родину.

В области кибернетики работают такие крупнейшие советские ученые, как академики А. И. Берг, В. М. Глушков, С. А. Лебедев, С. Л. Соболев, В. А. Трапезников, А Н. Колмогоров; члены-корреспонденты АН СССР А. А. Харкевич, Б. С. Сотсков, Л. В. Канторович и многие другие.

Широкий фронт работ в области кибернетики в нашей стране является залогом новых и быстрых успехов в развитии этой интереснейшей области науки, которой принадлежит будущее. В Программе КПСС говорится, что в течение двадцатилетия получат широкое применение кибернетика, электронные счетно-решающие и управляющие устройства в производственных процессах промышленности, строительной индустрии и транспорта, в научных исследованиях, в плановых и проектно-конструкторских расчетах, в сфере учета и управления.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ИДЕИ ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ

Как уже было сказано во введении, характерной чертой кибернетики является совместное изучение процессов управления в технических устройствах и в живых организмах. Что же дает нам право сравнивать процессы управления в столь отличающихся качественно друг от друга системах?

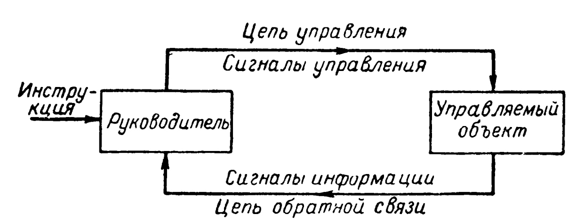


Рис. 1. Блок-схема неавтоматического управления объектом.

Чтобы установить наличие позволяющих это делать аналогий, рассмотрим несколько общих блок-схем управления, относящихся к различным системам. На рис. 1 представлена схема неавтоматического управления каким-либо объектом (станком, конвейером, цехом, заводом, транспортной единицей и т. п.), осуществляемого человеком (оператором, машинистом, диспетчером, начальником), именуемым в дальнейшем руководителем.

Воздействие руководителя на управляемый объект может осуществляться: механическим путем — при помощи рычагов или гибких тяг, гидравлического или пневматического привода; электрическим путем — изменением подводимых токов и напряжений или изменением частоты переменных токов, серий электрических импульсов и т. п.; при помощи устных распоряжений — по телефону или по любому другому каналу связи, если управляемый объект, как, например, цех, конвейер или завод, имеет исполнителей, уп-

равляющих агрегатами в соответствии с волей руководителя. Все перечисленные и многие другие средства передачи сигналов управления образуют цепь управления объектом или прямую цепь воздействия на управляемый объект. Однако совершенно естественно, что целесообразное управление объектом невозможно, если руководитель не знает состояния объекта, не имеет возможности лично, при помощи приборов или через исполнителей контролировать периодически или непрерывно фактическое состояние объекта и выполнение команд управления. Руководитель должен получать по так называемому каналу обратной связи информацию о фактическом поведении управляемого объекта, сравнивать ее с требуемым режимом работы, принимать соответствующие решения и посылать по цепи управления соответствующие сигналы или команды — так называемую управляющую информацию.

Рассмотрим конкретные примеры неавтоматического управления.

Пусть перед оператором (руководителем) поставлена задача поддерживать постоянным число оборотов электродвигателя, вращающего некоторое устройство (объект). Предположим, что заданная скорость электродвигателя равна 1 500 *об/мин.* Согласно паспортным данным, такая скорость вращения получается при определенных значениях напряжения питания и тока в обмотке возбуждения.

Однако в силу ряда трудно учитываемых обстоятельств, как, например, изменение нагрузки, трения в подшипниках, изменение окружающей температуры и связанное с этим изменение сопротивления обмоток и др., фактическая скорость вращения может не соответствовать заданной. Эта скорость должна быть измерена любым способом, например тахометром, и данные измерения должны стать известными оператору. Данные о скорости, измеренные приборами, передаются оператору по каналу обратной связи. Зная, таким образом, фактическую скорость вращения электродвигателя, составляющую, скажем, 1 480 *об/мин,* оператор, руководствуясь инструкцией и практическим опытом, принимает решение изменить соответственно при помощи реостата величину тока возбуждения. Если в результате этого скорость электродвигателя превысит заданную, то изменением тока возбуждения в противоположную сторону можно уменьшить эту скорость.

В качестве другого, более сложного примера рассмотрим управление заводом (объект), осуществляемое диспетчером (руководителем). По каналам управления, связывающим диспетчера с цехами, он отдает распоряжения подчиненным ему исполнителям, получая от них в свою очередь по каналам обратной связи информацию о положении в цехах, снабжении сырьем, выпуске готовой продукции и т. п. На основе полученной информации диспетчер принимает определенные решения и отдает те или иные распоряжения (сигналы управления). В случае такого косвенного управления производственным процессом — через мастеров цеха, исполнителей у станков и агрегатов и других посредников — с одной стороны, повышается возможность искажения сигналов управления этими посредниками, но с другой стороны, ход производственного процесса может быть улучшен благодаря тому, что посредники выполняют волю диспетчера не механически, а могут ее творчески перерабатывать, вносят те или иные коррективы в общие указания руководителя.

На рис. 2 представлена схема автоматического управлений объектом. Схема, как видим, внешне не отличается от предшествующей, однако процесс управления осуществляется в данном случае без участия человека. От управляемого объекта через посредство не показанных на схеме измерительных приборов и преобразователей информация о состоянии управляемого объекта по цепи обратной связи поступает в регулятор. Здесь она перерабатывается,

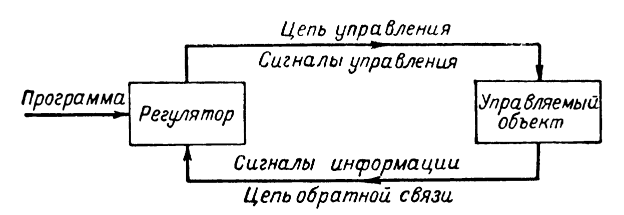


Рис. 2. Блок-схема автоматического управления.

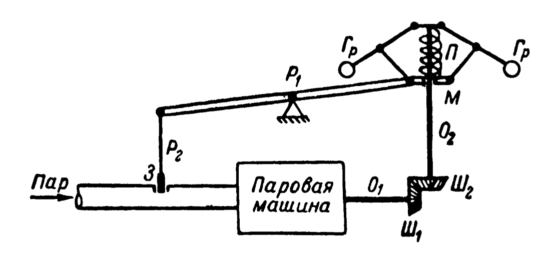


Рис. 3. Схема центробежного регулятора паровой машины.

и регулятор в соответствии с полученной информацией и заданной программой вырабатывает сигналы управления, поступающие по цепи управления к объекту. Программа регулирования может определяться самой конструкцией регулятора или в более сложных системах может вводиться в регулятор извне.

В качестве примера автоматического регулирования рассмотрим общеизвестную конструкцию центробежного регулятора паровой машины, изобретенного Уаттом в 1784 г. (рис. 3). Система работает следующим образом. С осью машины O_1 при помощи шестерен $Ш_1$ и $Ш_2$ связана ось регулятора O_2, муфта *М* которого благодаря упругости работающей на сжатие пружины *П* при неподвижной машине находится в крайнем нижнем положении. При увеличении скорости вращения машины грузы *Гр* под действием центробежной силы отходят от оси O_2, сжимают пружину *П* и поднимают муфту *М*. При этом перемещаются рычаги P_1 и P_2, и заслонка *З* уменьшает поступление пара в цилиндры машины, отчего снижается число ее оборотов. Рассмотренная система полностью соответствует общей схеме автоматического управления (рис. 2), причем управляемым объектом здесь является паровая машина; цепь обратной связи, доставляющая к регулятору информацию о скорости вращения паро-

вой машины, состоит из системы осей O_1 и O_2 и шестерен $Ш_1$ и $Ш_2$, а цепь управления образуется рычагами P_1 и P_2.

Таким образом, каналы связи в рассмотренной системе имеют чисто механическую структуру.

Программа регулирования (заданная скорость вращения машины и пределы ее отклонения) зависит от конструкции самого регулятора, массы грузов *Гр* и упругости пружины *П*, а также от характеристики цепей управления и обратной связи, т. е. соотношения

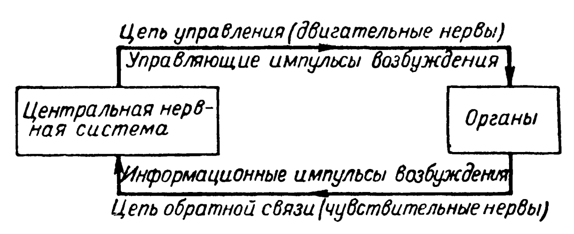


Рис. 4. Блок-схема рефлекторной дуги в живом организме.

плеч рычагов, передаточного числа зубчатого сцепления и т. д. Регулятор в этой системе, заменяя человека, выполняет простейшую логическую функцию, которая может быть выражена в следующем виде: «если скорость машины велика, то нужно уменьшить впуск пара; если скорость мала, то впуск пара нужно увеличить».

В более сложных современных системах автоматического регулирования, когда управляемый объект включает несколько агрегатов или регулирование происходит не по одному параметру, а по нескольким (например, скорость, температура, давление и т. п.), в качестве каналов связи, как правило, используются электрические цепи, а в качестве наиболее совершенных регуляторов, способных выполнять достаточно сложные и разнообразные логические функции, применяются электронные вычислительные машины (см. гл. 2 и 3).

Рассмотрим теперь систему управления, действующую в живом организме. По учению великого русского физиолога И. П. Павлова, «животный организм как система существует среди окружающей природы только благодаря непрерывному уравновешиванию этой системы с внешней средой, т. е. благодаря определенным реакциям живой системы на попадающие на нее извне раздражения, что у более высших животных осуществляется преимущественно при помощи нервной системы в виде рефлексов»[1]. Путь, по которому осуществляется рефлекс, получил в физиологии название рефлекторной дуги. Блок-схема рефлекторной дуги представлена на рис. 4. Дуга состоит не менее чем из двух нервных путей: чувствительного и двигательного, связывающих центральную нервную систему (спинной и головной мозг), выполняющую функцию регулятора, с органами живого организма, являющимися управляемыми объектами. Рефлекторная дуга начинается с расположенных в управляемом

---

[1] И. П. **Павлов**, Полное собрание сочинений, т. III, кн. 2, АН СССР, 1951, стр. 323.

органе рецепторов — воспринимающих раздражения окончаний чувствительных нервов. Если воспользоваться технической терминологией, то рецепторы выполняют роль измерительных приборов или датчиков. По месту расположения рецепторы разделяются на внешние (экстерорецепторы), находящиеся в коже, ушах, глазах и т. д., и внутренние (интерорецепторы) — во внутренних органах, сосудах, мышцах. На действие того или иного раздражителя (свет, звук, тепло и т. п) рецептор отвечает возникновением возбуждения, которое по каналу обратной связи — по чувствительным нервам — распространяется до центральной нервной системы и таким образом доносит до нее информацию о воздействии раздражителя на орган. В центральной нервной системе происходит переработка полученной информации. В простейшем случае это просто переход возбуждения на двигательные нервы. Это происходит, например, в спинном мозгу при безусловном коленном рефлексе, заключающемся в подбрасывании ноги при ударе молоточком по коленной чашечке (рис 5). В более сложных случаях при условных рефлексах дуга замыкается через временные связи, образующиеся в коре больших полушарий головного мозга. От центральной нервной системы процесс возбуждения по каналу связи — двигательным нервам — распространяется к рабочим органам — мышцам, железам, вызывая их деятельность.

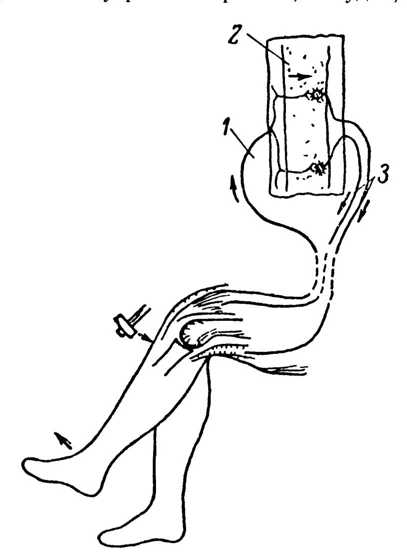


Рис. 5. Схема рефлекторной дуги коленного рефлекса.

1 — центростремительные или чувствительные (афферентные) нервы; *2* — спинной мозг; *3* — центробежные или двигательные (эфферентные) нервы.

Сравнивая теперь рассмотренные нами три блок-схемы управления (рис. 1, 2 и 4), относящиеся к неавтоматическому управлению, автоматическому управлению в технических устройствах и управлению в живых организмах, мы приходим к выводу о существенном структурном сходстве этих схем и о соответствии отношений между аналогичными элементами в различных системах.

Прежде всего все рассмотренные схемы управления характеризуются наличием замкнутого цикла, замкнутой кольцевой цепи передачи сигналов — передачи информации. С одной стороны, от регулятора к управляемому объекту по цепи управления поступает информация в виде сигналов управления, с другой стороны, от объекта к регулятору цепь передачи замыкается сигналами обратной связи, несущими информацию о фактическом состоянии управляемого объекта. Под каналами связи, передающими информацию, следует понимать любую систему, способную осуществлять

такую передачу: механические, пневматические, электрические и другие каналы в технических устройствах и нервные коммуникации в живых организмах.

Роль руководителя в неавтоматических системах управления заключается в переработке получаемой информации о состоянии управляемого объекта, осмысливании этой информации и выработке наилучших, наиболее целесообразных решений по управлению объектом. В системах автоматического управления роль человека передается регулятору, который на основании полученной информации как бы должен принимать соответствующее «решение»[1]. Вместо человека теперь регулятор должен выполнять определенные «логические» функции, характеризующиеся формулой «если .. , то .. » (если получена такая-то информация, то нужно оказать на управляемый объект такое-то воздействие). Роль регулятора принадлежит и органам центральной нервной системы в живых организмах.

Рассмотрение приведенных выше схем управления позволяет сделать вывод, что кибернетика как математическая наука об управлении в самом широком смысле слова должна включать следующие основные разделы.

1. Теория систем автоматического регулирования, причем основное внимание кибернетика уделяет роли обратных связей как в технических устройствах, так и в живых организмах.

2. Теория информации, рассматривающая вопросы передачи информации по разнообразным каналам связи, включая нервную систему живых организмов, и переработки информации в регуляторах, в том числе и в органах центральной нервной системы живых организмов.

3. Теория регуляторов с точки зрения способности их к выполнению определенных логических функций. Практически в настоящее время в качестве наиболее совершенных регуляторов, допускающих сравнение с функциями органов центральной нервной системы живых организмов и человека, применяются быстродействующие электронные вычислительные машины. Поэтому в кибернетике рассматривается теория этих машин и, в первую очередь, теория выполнения ими логических процессов, подобных процессам человеческого мышления.

В кибернетике, относящейся к классу точных наук, важнейшую роль играют математические методы исследования Особенно важными для кибернетики являются такие разделы математики, как теория вероятностей, математическая статистика, теория случайных процессов, математическая логика, теория алгоритмов, теория множеств, теория функций, теория игр, исследование операций.

Элементарные вопросы теории, структуры, конструкций, программирования и использования современных кибернетических машин изложены в гл. 2 и 3. Ниже приводятся некоторые начальные сведения о видах автоматических устройств, по теории автоматического регулирования, а также основные понятия из теории информации.

---

[1] Здесь и всюду в дальнейшем нужно помнить, что применение подобной антропоморфной (человекоподобной) терминологии в отношении машин чисто условно и служит для упрощения изложения Фактически машины, конечно, не «принимают решений», не «думают», не обладают «памятью» в обычном понимании этого слова

2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Для практической реализации системы автоматического управления каким-либо процессом необходим некоторый комплекс автоматических устройств. В зависимости от конкретных требований, предъявляемых к системе, эти устройства могут быть построены на механических, электромеханических, пневматических, электронных

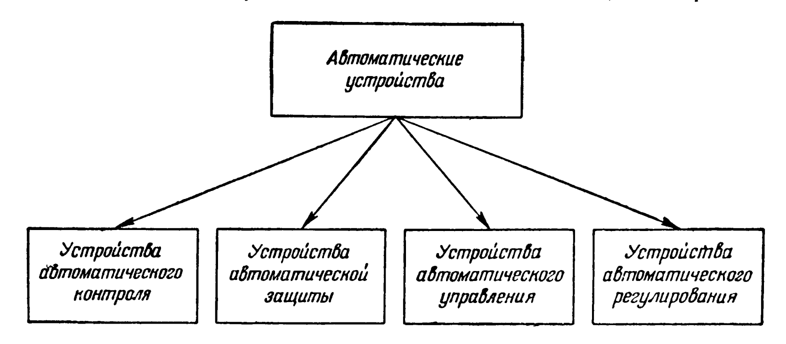


Рис. 6. Классификация автоматических устройств.

и других элементах. Однако независимо от тех физических принципов, которые положены в основу конструкции этих устройств, их можно подразделить на следующие основные виды (рис. 6): устройства автоматического контроля, автоматической защиты, автоматического управления и автоматического регулирования.

Автоматический контроль представляет собой область техники, к которой относятся средства и методы, предназначенные для автоматического наблюдения за состоянием агрегатов и ходом производственного процесса. Устройства автоматического контроля включают в себя средства автоматического съема различных данных (датчики давления, температуры, уровня и др.), контроль размеров и качества обработки изделий, всевозможные виды автоматической сигнализации, автоматические измерительные устройства и т п. На выходе устройств автоматического контроля могут находиться различные индикаторы (измерительные шкалы, световые сигналы, табло, сирены), самопишущие регистрирующие приспособления, исполнительные приспособления, предназначенные для автоматической сортировки изделий.

Устройства автоматической защиты служат для автоматического предотвращения аварий и поломок, которые могут возникнуть в тех или иных агрегатах вследствие превышения допустимых значений токов, напряжений, давлений, перемещений и т. п. Особенно широкое распространение получили устройства релейной защиты в энергетических системах. В настоящее время релейная защита превратилась в важную самостоятельную область автоматики.

Устройства автоматического управления представляют совокупность технических средств для автоматического включения и выключения, пуска, остановки, изменения направления, скорости тех или иных механизмов и систем.

Особенно успешно автоматическое управление осуществляется при использовании электрического привода. При этом значительно облегчается задача плавного регулирования скорости, упрощается обслуживание соответствующих механизмов, обеспечивается возможность дистанционного управления на больших расстояниях.

Автоматическим регулированием называют область автоматики, к которой относятся методы и средства, обеспечивающие поддержание в течение некоторого времени с заданной точностью определенных постоянных параметров регулируемого процесса. В ряде случаев параметры, характеризующие ход процесса, должны автоматически изменяться во времени по некоторому заранее заданному закону или в зависимости от условий протекания самого процесса.

3. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Возвратимся еще раз к блок-схеме автоматического управления, изображенной на рис. 2. В любой системе управления существуют так называемые задающие и возмущающие воздействия. Задающие — это полезные воздействия, обеспечивающие заданный режим работы системы. Возмущающие — это нежелательные воздействия, являющиеся следствием изменения внешних условий (температуры, давления и т. п.), нагрузки и ряда других факторов, которые часто заранее предусмотреть невозможно; они являются причиной нарушения требуемой функциональной связи между управляющим воздействием и регулируемой величиной. Именно существование возмущающих воздействий и обусловливает необходимость наличия в системах обратных связей и, следовательно, замкнутого цикла передачи информации. Вообще говоря, автоматическое регулирование может быть определено как автоматическое управление по замкнутому циклу.

Задающие воздействия делятся на три вида: постоянное воздействие, неопределяемое заранее воздействие и, наконец, воздействие, являющееся некоторой заданной функцией времени. Соответственно различают и три вида автоматического регулирования: стабилизирующее, следящее и программное. При стабилизирующем регулировании выполняется задача поддержания какого-либо параметра процесса постоянным. Рассмотренный выше центробежный регулятор паровой машины представляет собой одну из первых систем стабилизирующего регулирования. Стабилизирующие системы находят широкое применение для поддержания постоянства скорости, давления, температуры, напряжения, величины тока и т. п. В радиотехнической практике, например, широко применяются такие стабилизирующие устройства, как различные стабилизаторы тока и напряжения питания, автоматическая регулировка усиления в приемниках, обеспечивающая относительное постоянство напряжения на выходе приемника при значительных изменениях напряжения на входе, компрессоры в модуляционных устройствах, обеспечивающие относительное постоянство коэффициента модуляции при значительных колебаниях модулирующего напряжения, устройства стабилизации частоты и др.

При следящем регулировании значение регулируемого параметра изменяется в зависимости от какого-либо другого параметра,

вводимого извне или характеризующего протекание того же самого процесса. Следящие системы широко применяются для дистанционного управления различными объектами, когда, например, поворот рукоятки на некоторый угол вызывает поворот на такой же угол вала или руля, и в телеизмерениях, когда, например, перемещение измеряемого объекта вызывает соответствующее перемещение стрелки измерительного прибора. Такие следящие системы, у которых входная и выходная величины представляют собой механические перемещения, называют иногда сервомеханизмами. Примерами применения следящих систем в радиотехнической практике являются устройства автоподстройки приемников, радиолокационные системы сопровождения самолетов и др.

Программное регулирование представляет собой такую систему, при которой значения регулируемых параметров автоматически изменяются во времени в соответствии с заложенной в регулятор программой. Однако и в этом случае роль обратных связей не снижается, ибо остается необходимость контроля за тем, как управляемый объект фактически реагирует на сигнал управления, а следовательно и необходимость корректировки сигналов управления в соответствии с программой и с информацией о фактическом состоянии объекта.

По характеру изменения регулируемой величины различают непрерывные и дискретные системы автоматического регулирования.

Непрерывными называют такие системы, в которых непрерывное изменение регулируемого параметра обусловливается непрерывным изменением механических, электрических и других величин во всех звеньях системы. При этом структура всех связей в системе остается неизменной и выходные сигналы каждого звена представляют собой непрерывные функции воздействий и времени.

В дискретных или прерывистых системах автоматического регулирования непрерывному изменению регулируемого параметра соответствует прерывистое изменение сигналов, по крайней мере, в одном из звеньев системы. Дискретные системы в свою очередь можно разделить на релейные и импульсные.

Релейной называют такую систему, одним из основных звеньев которой является элемент релейного действия (реле), обеспечивающий скачкообразное изменение выходной величины при непрерывных изменениях входной, когда последняя проходит через некоторые фиксированные значения, называемые пороговыми.

В качестве простейшего примера рассмотрим релейную систему автоматического регулирования температуры, изображенную на рис 7,*а*. Такая система применяется, например, в термостатах задающих генераторов радиопередатчиков, где для обеспечения постоянства генерируемой частоты очень важно постоянство температуры деталей и стабилизирующей кварцевой пластинки. Постоянная температура в термостате поддерживается нагревательным элементом *Н*. Для автоматической регулировки температуры здесь применен терморегулятор, представляющий собой ртутный термометр *Т*, в верхнюю и нижнюю часть стеклянной трубки которого впаяны платиновые электроды. При включении питания на сетку лампы *Л* через сопротивление *R* подается положительное напряжение, в результате чего в анодной цепи лампы устанавливается большой ток, протекающий через обмотку реле *Р*. Якорь реле притягивается и замыкает цепь нагревательного элемента. Когда температура в тер-

мостате достигает некоторой заданной величины, ртуть в терморегуляторе доходит до верхнего электрода, сетка лампы замыкается через ртуть с катодом и потенциал сетки становится равным нулю. Анодный ток при этом значительно уменьшается, реле отпускает контакт, и цепь подогрева разрывается. При охлаждении термостата цепь в терморегуляторе разрывается, реле притягивает и вновь включает подогрев.

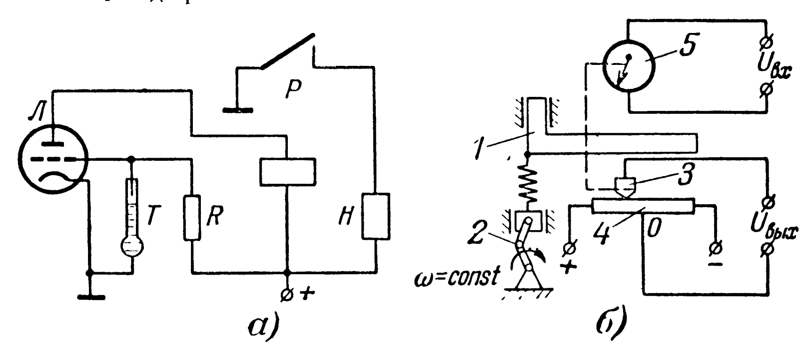


Рис. 7. Устройства автоматического регулирования.
а — релейная система автоматического регулирования температуры в термостате; *б* — импульсный элемент «с падающей дужкой».

В описанной системе релейный элемент может иметь два состояния — включенное и выключенное, причем в процессе работы он будет находиться в непрерывном колебательном режиме. Регуляторы подобного рода, в которых имеется двухпозиционный релейный элемент, называют вибрационными.

Подобным образом часто осуществляется и автоматическое регулирование скорости электродвигателей. Схема для этого может быть построена таким образом, что центробежный регулятор, установленный на оси электродвигателя, при превышении заданного числа оборотов замыкает контакт, шунтирующий дополнительное сопротивление, включенное последовательно в цепь обмотки возбуждения. При этом увеличивается ток, и, соответственно, магнитный поток возбуждения, что приводит к уменьшению скорости и, следовательно, шунтирующий контакт размыкается. Скорость опять возрастает, контакт замыкается и т. д. Таким образом, под действием вибрационного регулятора происходит непрерывное колебание скорости электродвигателя около некоторого заданного значения.

Импульсной системой автоматического регулирования называют такую систему, в которой величина на выходе какого-либо из ее элементов представляет собой последовательность импульсов. Амплитуда, длительность или частота следования этих импульсов являются функцией величины на входе элемента в отдельные моменты времени.

В качестве примера рассмотрим импульсный элемент с так называемой «падающей дужкой» (рис. 7,*б*). Элемент состоит из падающей дужки *1*, которая циклически перемещается вверх — вниз

при помощи привода 2, вращающегося с некоторой заданной угловой скоростью ω. Под дужкой находится контакт 3, связанный со стрелкой измерительного прибора 5. При перемещении дужки вниз контакт 3 соединяется с потенциометром 4, причем замыкается выходная цепь 6. Величина и полярность напряжения на выходе элемента $U_{вых}$ зависят от положения контакта 3 относительно точки 0 в момент соприкосновения этого контакта с потенциометром. Так как контакт связан со стрелкой измерительного прибора, напряжение на выходе оказывается в конечном счете пропорциональным измеряемой прибором входной величине. Время соприкосновения контакта 3 с потенциометром постоянно и не зависит от положения контакта. Таким образом, длительность импульсов напряжения, снимаемых с потенциометра на выход, также постоянна, а амплитуда и полярность каждого из этих импульсов определяются положением контакта относительно средней точки потенциометра, т. е. значением входной величины.

В настоящее время в качестве элементов, выполняющих преобразование входной величины в последовательность импульсов, все чаще применяются различные электронные схемы.

Рассмотренные простейшие примеры относятся к системам, в которых осуществляется стабилизирующее регулирование по одному параметру (температуре, скорости вращения).

В системах автоматического программного регулирования, которые могут заменить человека при управлении самыми сложными производственными процессами, с функциями регулятора наиболее успешно может справиться быстродействующее вычислительное устройство — электронная вычислительная машина. Ее роль заключается в определении того, какие сигналы управления должны быть поданы для наиболее благоприятного протекания процессов. Развернутая блок-схема автоматической системы программного регулирования производственного процесса, характеризуемого несколькими параметрами, приведена на рис. 8.

Предположим, что работа управляемого объекта *О* характеризуется следующими параметрами: скоростью v, давлением p и температурой t. Пусть заданными программой работы значениями этих параметров являются величины v_0, p_0 и t_0. Пусть, наконец, на процесс влияют такие внешние данные, как температура окружающей среды $t_{вн}$ и атмосферное давление $p_{вн}$. Тогда в вычислительное устройство *ВУ*, призванное выполнять логические функции наиболее благоприятного управления данным производственным процессом, должна поступать следующая информация. Во-первых, в него должна быть введена программа работы, которая задает закон изменения во времени значений параметров v_0, p_0 и t_0. Во-вторых, в *ВУ* должна поступать информация о влияющих на производственный процесс внешних факторов $p_{вн}$ и $t_{вн}$ Величины $p_{вн}$ и $t_{вн}$ должны быть измерены измерительными приборами $И_1$ и $И_2$, и показания их после преобразования преобразователями $П_1$ и $П_2$ в сигналы, удобные для ввода, вводятся в *ВУ*. В-третьих, в *ВУ* должны быть введены данные о фактических параметрах работы объекта v, p и t, измеряемых приборами $И_3$, $И_4$ и $И_5$ и преобразуемых в удобную для ввода форму преобразователями $П_3$, $П_4$ и $П_5$. В вычислительном устройстве происходит переработка всей полученной информации, причем сличаются фактические данные о работе объекта v, p и t с заданными v_0, p_0 и t_0, учитываются внешние факторы $p_{вн}$ и $t_{вн}$ и

вырабатываются управляющие сигналы u_1, u_2 и u_3, которые преобразуются преобразователями $П_6$, $П_7$ и $П_8$ в удобную форму, усиливаются усилителями $У_1$, $У_2$ и $У_3$ и поступают на исполнительные механизмы $М_1$, $М_2$ и $М_3$, воздействующие на управляемый объект $О$ таким образом, чтобы его параметры соответствовали заданным

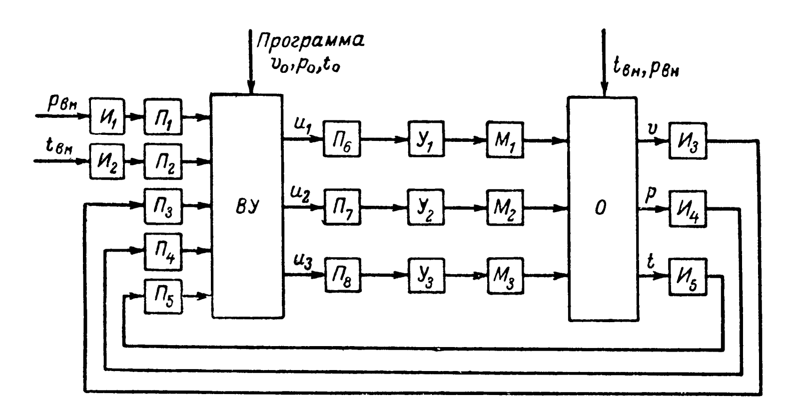


Рис. 8. Развернутая блок-схема автоматической системы программного регулирования с применением вычислительного устройства.

Описанные системы автоматического регулирования, обладающие жесткими характеристиками, иногда работают хуже неавтоматических систем с участием человека — оператора, который может при необходимости, приспосабливаясь к течению регулируемого процесса, изменять способы управления.

Успехи, достигнутые в разработке электронной кибернетической техники, позволили создать так называемые самонастраивающиеся системы автоматического регулирования. В отличие от обычных систем, где автоматическое регулирование осуществляется по строго определенному закону, в самонастраивающихся системах имеет место самоизменение закона регулирования. В большинстве случаев это самоизменение закона имеет целью обеспечение экстремальных (максимальных или минимальных) значений некоторых параметров регулируемого процесса.

4. ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ

Из изложенного ранее следует, что в процессе автоматического управления происходят передача различных сигналов (информации) по каналам связи и переработка этой информации в регуляторах. Поэтому одним из важнейших разделов кибернетики является так называемая теория информации, которую в техническом понимании можно определить как теорию передачи сообщений по каналам связи.

Рассмотрим схему передачи сообщений по каналу связи, приведенную на рис. 9. Вырабатываемое источником и подлежащее передаче сообщение (человеческая речь, музыка, текст телеграммы, изображение и т. п.) нужно превратить предварительно в электрический сигнал, удобный для передачи по линии. Это превращение происходит в передатчике, к которому будем относить микрофон, телеграфный ключ, передающую телевизионную трубку и другие

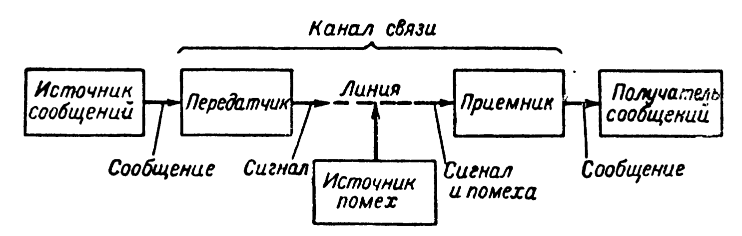


Рис. 9. Схема передачи сообщений по системе связи.

преобразователи сообщений в электрические сигналы, а также необходимые генераторы колебаний высокой частоты, модуляционные устройства, усилители и т. п. Из передатчика сигнал поступает в линию (провода, кабель, радиолиния) и распространяется по ней до приемника, в котором происходит обратное преобразование сигнала в сообщение, доставляемое получателю. Передатчик, линия и приемник образуют канал связи. При передаче по каналу связи происходят поглощение и искажение сигнала, и, кроме того, источники помех примешивают к сигналу помехи, которые в конечном счете также мешают правильному воспроизведению сообщения на приемном конце. Основные проблемы, которые стоят перед теорией информации, это, во-первых, вопрос о наиболее производительном использовании канала, т. е. о том, как передать по каналу наибольшее количество сообщений, и, во-вторых, вопрос о надежности связи, т. е. способности системы связи донести сообщение к получателю с минимальными потерями и искажениями.

Рассмотрим прежде всего вопрос об эффективности использования канала связи. Роль канала связи заключается в транспортировании сообщений от источника к получателю. Поэтому с точки зрения техники передачи нужно найти такие свойства сигналов, которыми удобно характеризовать условия их перемещения по каналу. Можно провести некоторую аналогию между транспортом сигналов по каналам и грузов по путям сообщения. С точки зрения техники перевозок нас интересуют далеко не все характеристики груза. Так, например, с точки зрения транспортника очень важными являются такие характеристики, как вес груза и его габариты (размеры). Однако, например, цвет этого груза не влияет на технические условия его перевозки. Подобно этому и сигнал можно характеризовать некоторыми основными параметрами (свойствами), имеющими наибольшее значение при его передаче по каналу.

Такими свойствами сигнала являются, очевидно, его величина или интенсивность и полоса частот, занимаемая сигналом, так как этими параметрами определяются соответствующие требования к ка-

налу связи. Важной характеристикой является также длительность сигнала, определяющая время занятия канала. В то же время смысл сообщения, заключающегося в данном сигнале, не играет никакой роли с точки зрения техники передачи. Передача сообщений «вышел из строя оконечный каскад мощного усилителя» или «встречай двадцатым поездом в понедельник вагон 11» требует одинакового времени и одинаковых затрат электрической энергии, так как каждое из этих сообщений содержит одинаковое количество букв, хотя они и резко отличаются друг от друга по смыслу.

Остановимся более подробно на основных, с точки зрения передачи, характеристиках сигнала. Важнейшее значение имеет интенсивность сигнала, выражаемая его электрической мощностью. Однако, так как практически свойства сигнала как переносчика сообщений определяются не абсолютной его величиной, а превышением уровня сигнала над уровнем помех, то в качестве мерила интенсивности сигнала выбирают отношение мощности сигнала $P_с$ к мощности действующей в канале помехи $P_п$. При этом для получения более удобных математических соотношений берут не абсолютную величину этого отношения, а его логарифм. Таким образом, величина превышения сигнала над помехой, или относительный средний уровень сигнала над помехой,

$$H = \log \frac{P_с}{P_п}^{*}.$$

Следующим параметром сигнала является ширина его спектра, F, представляющая собой разность между максимальной и минимальной частотами, имеющимися в спектре сигнала:

$$F = f_{макс} - f_{мин}.$$

Наконец, сигнал характеризуется длительностью T, равной разности между временем прекращения (конец) сигнала $t_к$ и временем его начала $t_н$:

$$T = t_к - t_н.$$

Если представить выбранные нами характеристики сигнала в виде отрезков прямых, выраженных в определенном масштабе, и отложить эти отрезки параллельно трем взаимно перпендикулярным осям координат: оси относительных уровней h, оси частот f и оси времени t, то можно геометрически представить себе сигнал в виде объема параллелепипеда с ребрами H, F и T, представляющими собой как бы габариты сигнала (рис. 10). Произведение $V = HFT$ назовем объемом сигнала.

Аналогичными параметрами можно характеризовать и канал связи. Обозначим через $H_к$ допустимый диапазон изменений мощности в канале, $F_к$ — ширину спектра частот, пропускаемых каналом, и $T_к$ — время занятия канала. Тогда свойства канала в целом

* Этим выражением для H удобно пользоваться при значительном превышении сигнала над помехами. Более точным является выражение

$$H = 2\log\left(1 + \frac{U_с}{U_н}\right).$$

можно характеризовать произведением $V_к = H_к F_к T_к$, которое назовем емкостью канала.

Для того чтобы канал обеспечивал передачу данного сигнала, нужно, чтобы соблюдалось условие $V_к \geqslant V_с$, т. е. чтобы объем сигнала умещался в емкости канала. Емкость действующих каналов связи обычно бывает больше объема передаваемых по ним сигналов, и для повышения эффективности использования каналов необходимо, применяя соответствующие способы преобразования сигнала, добиваться возможно большего приближения к равенству $V_к = V_с$. Передача сигналов в системе связи не является самоцелью. Нас в конечном счете интересует не передача сигналов, а передача сообщений; сигналы являются лишь удобной для передачи формой, в которую преобразуются сообщения. Поэтому задача эффективного использования канала связи требует также максимального заполнения объема сигнала передаваемыми сообщениями или информацией.

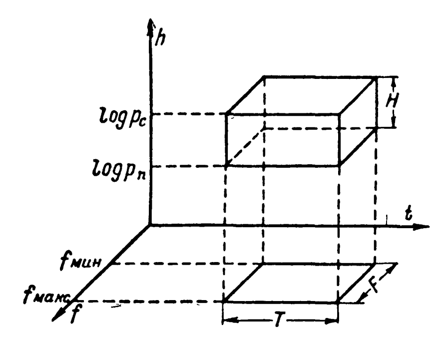


Рис. 10. Геометрическое представление сигнала.

Однако, если мы относительно легко справились с измерением объема сигнала и емкости канала, то измерение количества сообщений или количества информации является более трудной задачей, особенно учитывая качественное своеобразие различных сообщений (буквенный текст, речь, музыка, изображение) и необходимость найти такую единицу измерения, которая оказалась бы пригодной для измерения этих качественно различных видов информации. После длительных поисков за единицу информации условились принять так называемую двоичную единицу, которая представляет собой количество информации, получаемой в результате одиночного выбора из двух равновероятных возможностей. Разберемся в этом определении.

Предположим, что у нас есть ящик, в который мы опустили два белых шара. Извлечем теперь один из шаров. Конечно, этот шар будет белым, и ничего нового в результате такого эксперимента мы не узнаем. Так как мы заранее знали, что извлечем белый шар, то, вынимая его, мы не получаем никаких новых сведений, никакой информации. Количество информации, полученной в результате осуществленного нами эксперимента, равно нулю.

Опустим теперь в ящик один белый и один черный шар. Теперь мы уже не можем заранее предсказать, какого цвета шар будет вынут из ящика. Вероятности извлечения черного или белого шара совершенно одинаковы, и, таким образом, извлекая тот или иной шар, т. е. осуществляя одиночный выбор из двух равновероятных возможностей, мы узнаем нечто заранее нам неизвестное, получаем некоторую информацию, количество которой и условились принимать равным одной двоичной единице.

Предположим теперь, что мы опустили в урну 32 билета с написанными на них различными буквами алфавита. Если билеты хорошо перемешаны, то вероятность извлечения любого из билетов одинакова. Попробуем подсчитать в двоичных единицах количество информации, которое мы получаем при извлечении одного из билетов. Для этого нужно свести процесс отыскания определенного билета к серии одиночных выборов из двух равновероятных возможностей. Сделать это можно так. Разделим все билеты на две равные группы по 16 билетов в каждой. Интересующий нас билет окажется в одной из этих групп. Ту группу, где нужного билета нет, отложим в сторону, а оставшуюся опять разделим пополам. Теперь, в результате второго эксперимента, нужный билет окажется в одной из групп по восьми билетов. Будем производить такие выборы из двух равновероятных возможностей до тех пор, пока в группе не останется только один интересующий нас билет. Нетрудно подсчитать, что это получится в результате пяти выборов из двух равновероятных возможностей. Отсюда можно сделать заключение, что количество информации, получаемой в результате извлечения одного из 32 равновероятных билетов, будет равно пяти двоичным единицам. Вообще нетрудно показать, что при таком подходе к измерению информации количество информации I, получаемой при совершении одного из n равновероятных событий, будет равно логарифму числа этих событий, взятому при основании 2:

$$I=\log_2 n.$$

Все сказанное до сих пор относится к информации, получаемой в результате того, что совершается одно из нескольких равновероятных событий. Однако в реальных случаях передачи информации по каналам связи мы имеем дело, как правило, с событиями неравновероятными. Так, например, при передаче телеграфного текста на русском языке вероятность получения буквы *О* значительно больше вероятности получения буквы *Ы*, так как в русском тексте *О* встречается приблизительно в 6 раз чаще, чем *Ы*. Сравнительно несложный вывод позволяет определить информацию I, приходящуюся на одну букву алфавита языка, характеризующегося определенным распределением вероятностей появления отдельных букв:

$$I=-(p_1\log_2 p_1+p_2\log_2 p_2+\ldots+p_n\log_2 p_n) \text{ дв. ед.}$$

В этом выражении $p_1, p_2, \ldots, p_n$ представляют собой вероятности появления каждой из n букв в данном языке. Напомним, что вероятностью p какого-либо события называют отношение числа интересующих нас событий к общему количеству совершившихся событий при достаточно большом общем количестве событий, т. е. при массовом характере операций. Например, чтобы определить вероятность появления в тексте на данном языке букв *а*, *б* и т. д., нужно взять какую-либо книгу, напечатанную на этом языке, подсчитать общее количество букв в тексте n и количество букв *а* ($n_а$), *б* ($n_б$) и т. д. Тогда вероятность буквы *а* будет $p_а=n_а/n$, вероятность буквы *б* будет $p_б=n_б/n$ и т. д.

Вероятность любого события p всегда меньше или равна единице ($p<1$). Вероятность достоверного события равна единице (такова, например, вероятность извлечения белого шара из урны,

заполненной только белыми шарами). Вероятность невозможного события равна нулю (например, вероятность извлечения белого шара из урны, заполненной только черными шарами). Следует еще подчеркнуть, что близкие к истине результаты определения вероятностей можно получить лишь при анализе достаточно массовых операций. Так, для определения вероятностей появления букв в тексте можно взять любую достаточно толстую книгу на данном языке, и результаты при этом практически совпадут Однако, если мы попробуем определить вероятности букв, анализируя лишь одну страницу текста, результаты получатся различные, а при анализе только одной строчки можно получить совершенно далекие от истины результаты. Ведь если в этой строчке, предположим, совсем отсутствовала буква *д*, то мы найдем, что вероятность ее $p_д=0$, т. е. сделаем нелепый вывод о том, что появление буквы *д* в русском тексте является невозможным событием.

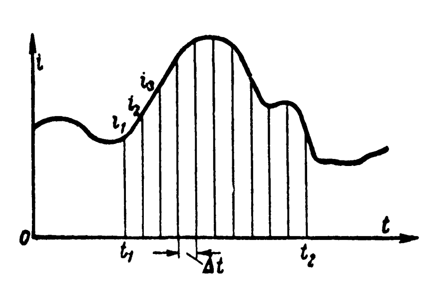


Рис. 11. График непрерывной функции времени.

Выше мы описали способ, удобный для измерения так называемой дискретной информации, т. е. информации, складывающейся из последовательности отдельных (дискретных) элементов — букв. Текст сообщения, передаваемого по телеграфу, является типичным примером дискретной информации. Однако значительно чаще происходит передача непрерывной информации, типичным примером которой является передача телефонного сообщения. В самом деле, ток в телефонной цепи представляет собой функцию, непрерывно изменяющуюся во времени (рис. 11). Непрерывную функцию времени представляет собой и телевизионный сигнал. Такая функция вообще на конечном интервале времени от t_1 до t_2 может быть вполне точно выражена лишь бессчетным множеством значений, т. е. бесконечным количеством чисел, соответствующих мгновенным значениям функции. Однако практически мы всегда имеем дело с ограниченными по спектру функциями. Любая функция сложной формы может быть представлена в виде суммы синусоидальных колебаний основной частоты и ряда гармоник, причем спектр звуковых частот ограничивается высшей частотой около 10 *кгц*, а при телефонной связи частотой порядка 3—5 *кгц*.

Для таких функций В. А. Котельниковым доказана очень важная теорема, гласящая, что функция с частотным спектром, ограниченным высшей частотой $f_в$, может быть совершенно точно представлена конечным числом отдельных значений i_1, i_2, $i_3, \ldots$, отсчитанных через интервалы времени

$$\Delta t = \frac{1}{2f_в}.$$

Теорема В. А. Котельникова позволяет, таким образом, представлять непрерывную информацию в виде дискретной и, в частности, распространить на непрерывную информацию методы определения ее количества, основанные на измерении количества дискретной информации. На основании этой теоремы разработаны практические методы так называемого квантования сигналов, т. е передачи непрерывного сигнала в виде последовательности его дискретных значений, что находит самое широкое применение при различных видах импульсной модуляции.

Важным в теории информации является понятие об избыточности. Для элементарного уяснения этого понятия проведем следующие рассуждения. В русском алфавите имеется 32 буквы. Если ограничить длину слова одной буквой, то максимальное количество возможных слов при пользовании этим алфавитом было бы также 32. Если теперь задаться длиной слова в две буквы и предположить, что любое, отличающееся от других сочетание двух букв (в том числе и одинаковых), является значащим словом, то количество возможных слов составит уже $32^2=1\,024$ слова. Наконец, при длине слова в три буквы, количество возможных слов, составленных по такому принципу, составит уже $32^3=32\,768$ слов, т. е. значительно больше, чем мы употребляем в повседневной речи.

В то же время средняя длина слова в русском языке составляет около 6 букв. Следовательно, все наши письменные тексты, устная речь, телефонные сообщения и т. п. оказываются примерно в два раза длиннее, чем они могли бы быть при применении более экономичного способа кодирования, т. е. для естественного языка характерна значительная избыточность кодирования.

Однако, несмотря на экономическую невыгодность избыточности кодирования, она имеет и существенные достоинства. Дело в том, что при экономичном кодировании, когда каждое, например, трехбуквенное сочетание соответствует определенному новому понятию, любая ошибка, т. е. случайная замена одной буквы другой будет приводить к образованию нового слова, соответствующего новому понятию. В то же время сложившаяся система кодирования понятий в устном языке и письменной речи дает нам возможность, как правило, не только легко обнаруживать, но и исправлять подобные ошибки. Так, если мы прочтем или услышим слова «ошабка», «избытучность», «кодиробание» и другие, то без особой трудности мы поймем, что это искаженные слова «ошибка», «избыточность», «кодирование».

То же относится и к проблеме правильного распознавания изображений и других объектов — чем больше количество, казалось бы, несущественных, не определяющих самой сути данного объекта, но тем не менее обычно свойственных ему признаков, тем безошибочнее происходит распознание этого объекта.

На основе достижений теории информации в настоящее время разработан ряд весьма совершенных способов кодирования сообщений. Это позволяет добиваться наиболее полного использования каналов связи, а также значительно повышать надежность передачи информации. В частности, разработаны новые методы модуляции, так называемый корреляционный метод приема, позволяющий выделять полезный сигнал при наличии превышающей его по уровню помехи, специальные корректирующие коды, т. е. коды, позволяющие обнаруживать и исправлять появившиеся ошибки, и др.

5. СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

Одним из весьма важных вопросов как с точки зрения связи, так и с точки зрения работы электронных вычислительных машин является вопрос о наиболее простых, удобных и совершенных методах кодирования величин.

Любую величину мы обычно представляем (кодируем) в виде числа, причем всемирное распространение получила сейчас так называемая десятичная система счисления, основанная на использовании десяти символов — цифр 0, 1, 2, 3,..., 9 и возникшая первоначально, как результат использования людьми для счета десяти пальцев рук. Однако десятичная система вовсе не является единственной возможной системой. В разное время разные народы пользовались различными системами счисления. Так, у древних индейцев племени майя применялась двадцатеричная система счисления, в которой после единиц следовали не десятки, а двадцатки, а после десятков не сотни, а четырехсотки (двадцать двадцаток). Еще и сейчас сохранились остатки двенадцатеричной системы (счет на дюжины, гроссы, т. е. дюжины дюжин и т. д.).

Для выражения чисел в двадцатеричной системе нужно располагать двадцатью, а в двенадцатеричной — двенадцатью цифрами. Возможны системы и со значительно меньшим количеством цифр. Так, в наиболее примитивной единичной системе достаточно иметь только одну цифру 1, при помощи которой можно выразить любое число следующим образом.

Десятичная система	1	2	3	4 . . .	8	. . .
Единичная система	1	11	111	1111 . . .	11111111	. . .

Можно построить пятеричную (с пятью цифрами), троичную (с тремя цифрами), двоичную (с двумя цифрами) и бесконечное число других систем счисления.

Установим некоторые общие законы построения позиционных систем счисления, т. е. таких систем, в которых значение каждого символа (цифры) определяется не только ее начертанием, но и местоположением ее в числе (позицией). Для этого рассмотрим прежде всего наиболее распространенную деситичную систему.

В десятичной системе счисления любое число N мы представляем в виде суммы произведений различных степеней десяти на коэффициенты, которые могут принимать одно из десяти возможных значений.

Сокращенно это можно записать так:

$$N = \sum_{i=1}^{i=n} k_i 10^{i-1},$$

где $k_i=0, 1, 2, \ldots, 9$, а n — количество разрядов в числе. Например, четырехразрядное число 7 405 мы можем представить в виде суммы: $7\,405=7\cdot10^3+4\cdot10^2+0\cdot10^1+5\cdot10^0$. Здесь $k_1=5$, $k_2=0$, $k_3=4$ и $k_4=7$.

Для упрощения записи числа мы пишем только значения этих коэффициентов 7, 4 ,0, 5, располагая их слева направо по убывающим индексам. При этом мы помним, что если коэффициент стоит на первом месте справа, то он означает количество десятков в ну-

левой степени, т. е. количество единиц, а если он стоит, например, на четвертом месте справа, то означает количество десятков в кубе, т. е. количество тысяч, и т. д.

Вообще в любой позиционной системе счисления некоторое количество a единиц первого разряда (где a называют основанием системы счисления) объединяются в одну единицу второго разряда, a единиц второго разряда объединяется в одну единицу третьего разряда и т. д. Таким образом, любое число N в позиционной системе счисления с основанием a выражается в виде:

$$N = \sum_{i=1}^{i=n} k_i a^{i-1},$$

где i — порядковый номер разряда, а k_i — коэффициент, который может принимать a различных значений: 0, 1, 2, ..., $(a-1)$. При записи чисел для упрощения пишутся только значения коэффициентов k_i, которые располагаются слева направо по убывающим индексам.

Наибольший интерес для связи, телемеханики, телеизмерений, и особенно для вычислительной техники, представляет двоичная система счисления, в которой любое число можно записать, располагая лишь двумя цифрами 0 и 1. В двоичной системе счисления работает подавляющее большинство современных быстродействующих электронных цифровых машин.

В соответствии с общей формулой записи чисел в позиционных системах счисления любое число в двоичной системе может быть записано в виде

$$N = \sum_{i=1}^{i=n} k_i 2^{i-1},$$

причем k_i может принимать лишь два значения: 0 или 1. Например, число 21 в двоичной системе можно представить в виде суммы:

$$21 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0.$$

Записать это число по такому же принципу, как и в десятичной системе, можно в виде последовательно расположенных коэффициентов при соответствующих степенях, т. е. в виде

$$21 \rightarrow 10101.$$

Эту запись при чтении мы расшифровываем так: один раз $2^0=1$; ни разу $2^1=2$; один раз $2^2=4$; ни разу $2^3=8$; один раз $2^4=16$. Итого $16+0+4+0+1=21$.

Приведем сравнительную запись простейших чисел в десятичной и в двоичной системах исчисления (табл. 1). Для быстрого перевода чисел из десятичной системы в двоичную можно пользоваться следующим правилом. Нужно выписать в столбец число в десятичной системе и результаты его последовательного деления на 2 с округлением до целого числа в сторону уменьшения, затем против каждого нечетного числа поставить 1, а против четного — 0

Таблица 1

Числа, записанные в системах счисления		Числа, записанные в системах счисления		Числа, записанные в системах счисления		Числа, записанные в системах счисления	
десятичной	двоичной	десятичной	двоичной	десятичной	двоичной	десятичной	двоичной
0	0	5	101	10	1010	15	1111
1	1	6	110	11	1011	16	10000
2	10	7	111	12	1100	17	10001
3	11	8	1000	13	1101	18	10010
4	100	9	1001	14	1110	19	10011
							и т. д.

и полученные в порядке снизу вверх единицы и нули записать в строчку слева направо.

7 405	1
3 702	0
1 851	1
925	1
462	0
231	1
115	1
57	1
28	0
14	0
7	1
3	1
1	1

Проиллюстрируем это правило примером перекодирования числа 7405 из десятичной системы в двоичную. Делим его на 2, получаем 3702,5, но, округляя до целого числа в сторону уменьшения, записываем 3702, опять делим на 2, записываем 1851 и т. д., пока не получим 1.

Затем пишем против нечетных чисел единицы, а против четных нули и записываем полученное двоичное число 1110011101101, которое действительно, в результате проверки, оказывается равным десятичному числу 7405.

Сравним с точки зрения машинного счета рассмотренную нами двоичную систему счисления с десятичной. Равновеликие числа имеют в двоичной системе в 3—4 раза большее количество разрядов, чем в десятичной системе. В нашем примере четырехразрядное число 7 405 в двоичной системе изображается тринадцатиразрядным числом 1110011101101. Это является недостатком двоичной системы. Однако при этом цифровая грамота значительно упрощается. Вместо десяти символов — цифр 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9, необходимых для изображения чисел в десятичной системе, любое число в двоичной системе мы выражаем, пользуясь лишь двумя символами: 0 и 1.

Сравним возможности изображения (кодирования) числа в виде электрических напряжений или токов при различных системах счисления (рис. 12). Любое число можно закодировать и передать в так называемой бесконечной системе счисления в виде импульса напряжения или тока, пропорционального по величине этому числу. Так, число 7 405 можно закодировать импульсом напряжения с амплитудой 7 405 *в*.

В десятичной системе счисления число можно закодировать

в виде последовательности из четырех импульсов, первый из которых будет иметь напряжение 7, второй 4, третий 0 и четвертый 5 *в*. Предположим теперь, что амплитуда импульсов снизилась на 1% из-за снижения напряжения источников питания или вследствие поглощения в цепи передачи. Тогда в первом случае напряжение импульса 7 405 *в* снизится до 7 405—74,05=7 330,95 *в*, и, таким об-

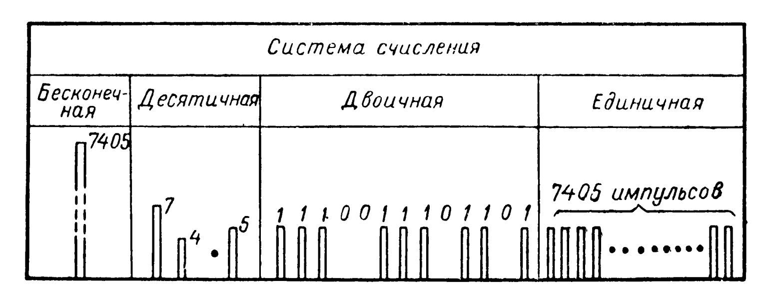


Рис. 12. Кодирование числа 7 405 в различных системах счисления.

разом, мы получим не то число, которое хотели передать (погрешность при передаче составит тоже 1%). Если на 1% уменьшится амплитуда импульсов при кодировании по десятичной системе счисления, то, так как импульсы изображают только целые числа, мы, очевидно, сможем по величине 5—0,05=4,95 *в* догадаться путем округления, что данный импульс изображал число 5. Таким образом, десятичная система счисления обеспечивает несколько более надежное кодирование информации. Впрочем, это повышение надежности имеет место лишь в том случае, если изменение амплитуды импульсов не превышает нескольких процентов.

В двоичной системе счисления число 7 405 записывается в виде 1110011101101 и может быть закодировано в виде последовательности из 11 импульсов, причем импульсы, соответствующие единицам, могут иметь любое, скажем положительное значение, а импульсы, соответствующие нулям, должны иметь амплитуду, равную нулю, или могут иметь любое отрицательное значение. Теперь колебания источников питания или изменение амплитуды импульсов при передаче даже на десятки процентов никак не скажутся на достоверности информации, ибо при двоичном кодировании нас интересует не величина импульса, а сам факт его существования: есть импульс — значит записана единица, нет импульса — нуль.

Наконец, в единичной системе счисления число 7 405 можно представить в виде последовательности из 7 405 импульсов любой амплитуды. Таким образом, по достоверности единичная система не уступает двоичной, но она крайне неудобна, так как большие числа представляются большим количеством импульсов и, значит, требуют очень большого времени для записи и передачи.

Сравнивая свойства кодирования в рассмотренных нами четырех системах счисления, можно отдать безусловное предпочтение двоичной системе, при которой, с одной стороны, обеспечивается наиболее высокая достоверность информации и, с другой стороны,

запись и передача чисел, хотя и длительнее, чем при всех других (кроме единичной) системах, но все же занимает вполне приемлемое время. При длительности импульсов порядка микросекунд общее время, необходимое для передачи числа, не превышает десятков или сотен микросекунд.

С точки зрения машинной вычислительной техники кодирование по двоичной системе счисления обладает весьма существенным преимуществом, так как позволяет строить машины из простых элементов с двумя устойчивыми состояниями: двухпозиционных электромагнитных или электронных реле, магнитных элементов с прямоугольной петлей гистерезиса и т. п. Такие элементы значительно проще и надежнее, чем элементы с десятью устойчивыми состояниями. Это преимущество удается реализовать в машинах, условно считая, что одно из устойчивых состояний, например начальное, соответствует нулю, а второе — рабочее — единице Наконец, очень важным преимуществом двоичной системы является крайняя простота правил выполнения арифметических операций. В самом деле, для сложения чисел в двоичной системе нужно знать лишь следующие правила (таблицу сложения):

$$0+0=0$$
$$0+1=1$$
$$1+0=1$$
$$1+1=10$$

Последнюю строчку мы должны расшифровать так: $1+1$ даст в сумме 0 и в переносе в следующий разряд 1.

Таблица умножения в двоичной системе выглядит так:

$$0\times0=0$$
$$0\times1=0$$
$$1\times0=0$$
$$1\times1=1$$

Технические правила выполнения арифметических действий остаются в двоичной системе такими же, как и в десятичной. Произведем, например, в двоичной системе сложение и перемножение чисел 5 (101) и 9 (1001):

```
 +5 →  101        ×5 →  101
  9 → 1001         9 → 1001
 ----------       -----------
 14 ← 1110             101
                      000
                     000
                    101
                  -----------
                  45 ← 101101
```

По общим правилам можно в двоичной системе также выполнять и вычитание, и деление. Однако практически, исходя из задачи максимального упрощения устройств и унификации арифметических операций, все действия арифметики в цифровых машинах стремятся свести к одному — сложению. В двоичной системе счисления, как видно из приведенного примера, умножение естественно сводится к сложению множимого самого с собой столько

раз, сколько единиц в множителе, только с одновременным осуществлением сдвигов этих слагаемых влево.

Применяя некоторые искусственные приемы, удается свести к сложению и вычитание чисел. Наконец, деление можно выполнять, как вычитание делителя из делимого. Таким образом, все четыре арифметических действия можно заменить сложением. Так как различные более сложные вычислительные операции в свою очередь сводятся к простым арифметическим действиям, то появляется возможность, пользуясь только операцией суммирования и некоторыми несложными вспомогательными логическими операциями, решать сложные задачи вычислительного характера.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

6. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ

Быстрое развитие науки и техники требует осуществления непрерывно возрастающего количества все более сложных и трудоемких расчетов и вычислений. Человечество издавна пользуется всевозможными счетными приборами, облегчающими вычислительную работу. К таким приборам относятся обычные конторские счеты, логарифмическая линейка, арифмометр, всевозможные счетно-решающие и перфорационные машины механического действия, электронные моделирующие и цифровые вычислительные машины. Все эти разнообразные вычислительные приборы можно разделить на две основные группы: моделирующие и цифровые вычислительные приборы и машины.

В моделирующих приборах числа, с которыми производятся всевозможные операции, моделируются некоторыми физическими величинами. Классическим примером моделирующего прибора может служить такое широко распространенное счетное приспособление, как логарифмическая линейка. Здесь числа моделируются длинами. Производя те или иные операции на линейке, мы фактически складываем или вычитаем определенные участки длины корпуса и движка, на которых в логарифмическом масштабе нанесены числа.

Числа можно моделировать и углами поворота вала, давлениями, токами, напряжениями и т. п. Представим себе суммирующую схему (рис. 13), состоящую из двух потенциометров R_1 и R_2, при помощи которых мы можем установить напряжения U_1 и U_2, соответствующие слагаемым и измеряемые вольтметрами V_1 и V_2. Тогда вольтметр V покажет нам напряжение $U=U_1+U_2$, т. е. напряжение, соответствующее сумме. Таким образом, мы получим сразу готовый ответ — сумму. Применяя относительно несложные ламповые схемы, можно также быстро осуществлять простые арифметические действия, тригонометрические операции, интегрирование и т. п.

Главным достоинством моделирующих машин является высокая скорость работы, обеспечивающая решение сложных математических задач за время порядка секунд или даже долей секунды. Однако моделирующие машины обладают и серьезным недостатком — сравнительно малой точностью вычислений. Известно, например, что при вычислениях на логарифмической линейке мы получаем всего 2—3 точных знака. В электрических и электронных моделирующих машинах на точность вычислений влияют помехи, колебания напряжения источников питания. Наконец, вообще в условиях быстрой работы трудно точно устанавливать и измерять напряжения или токи с высокой точностью. Поэтому практически электромоделирующие устройства дают погрешности порядка единиц процентов. Другим недостатком моделирующих машин является их специализированный характер: схема и устройство машины обеспечивают решение задач определенного типа: для решения задач другого типа необходимо применять иную машину.

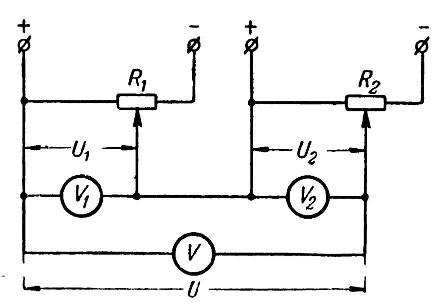


Рис. 13 Простейшая электрическая суммирующая схема на потенциометрах.

Описанные свойства моделирующих машин определяют и область их применения для решения инженерных задач, задач военного характера (стрельбы, бомбометания и т. п.) и других задач, для которых точность порядка единиц процентов оказывается достаточной и в то же время требуются большая скорость работы и простота эксплуатации.

Цифровые вычислительные машины работают на принципах поразрядного счета. Широко распространенными простейшими цифровыми устройствами являются конторские счеты и арифмометры. Точность работы этих приборов принципиально не ограничена: она обусловливается лишь их конструкцией, т. е. количеством проволок с костяшками в счетах и количеством цифровых колес в арифмометрах. Именно это свойство цифровых устройств — высокая точность вычислений и обусловливает их исключительное использование в бухгалтерских работах. Вершиной современной вычислительной техники являются электронные цифровые машины, дающие возможность осуществлять вычисление с большими скоростями, достигающими в настоящее время миллионов арифметических операций в секунду, и с точностями порядка десятков правильных знаков. Важнейшим положительным свойством электронных цифровых машин является также их универсальность. Одна и та же машина может решать самые разнообразные вычислительные и логические задачи, и, следовательно, электронные цифровые машины открывают широкие перспективы механизации умственного труда. Будущее кибернетики тесно связано в первую очередь с развитием цифровых машин, и поэтому мы в дальнейшем сосредоточим основное внимание на их устройстве и работе.

Рассмотрим упрощенную блок-схему электронной вычислительной машины (рис. 14). На этой схеме показаны только основные блоки машины и их связи между собой. Главнейшими частями машины являются запоминающее, арифметическое и управляющее устройства Запоминающее устройство *ЗУ*, или, короче, «память» машины служит для более или менее длительного хранения информации, введенной в машину, промежуточных и окончательных ре-

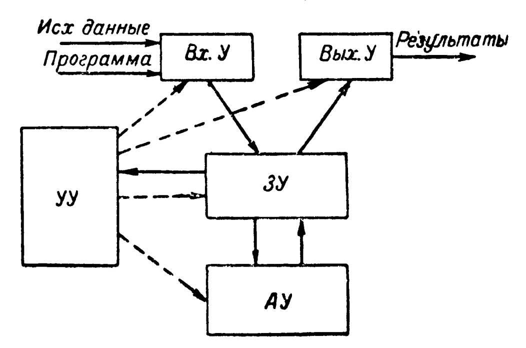


Рис. 14. Блок-схема электронной цифровой машины.

Вх У — входное устройство; *Вых У* — выходное устройство; *УУ* — управляющее устройство, *ЗУ* — запоминающее устройство; *АУ* — арифметическое устройство.

зультатов произведенных машиной вычислений. В арифметическом устройстве *АУ* происходят соответствующие программе арифметические операции над числами, которые поступают в него из *ЗУ*, причем результаты этих операций возвращаются в «память» машины и фиксируются в ней. Наконец, управляющее устройство *УУ* служит для управления всеми элементами машины в соответствии с введенной в нее программой.

Через входное устройство *Вх.У* осуществляется ввод в машину исходных данных и программы вычислений, а через выходное устройство *Вых.У* — вывод окончательных, а в ряде случаев и важных промежуточных результатов вычислений из машины. Цепи передачи информации (чисел, программы) показаны на схеме сплошными, а цепи управления штриховыми линиями. Таким образом, если, предположим, по программе машина должна выполнить операцию сложения двух чисел, то управляющее устройство подготовит *АУ* для выполнения сложения, а устройство памяти выдаст в *АУ* числа, подлежащие сложению. Сумма из *АУ* поступит вновь в *ЗУ*, и если она является окончательным результатом, то из *ЗУ* поступит в выходное устройство и будет отпечатана.

В дальнейшем будет показано, как работает каждое из устройств машины. Однако, так как и арифметические, и запоминающие, и управляющие устройства, как правило, включают в себя электронные элементы с двумя устойчивыми состояниями (биста-

бильные или двухпозиционные элементы) типа так называемых триггеров или спусковых схем, приведем прежде всего некоторые сведения о работе триггеров и их применении в схемах кибернетических машин.

7. ТРИГГЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

Существует большое количество различных вариантов схем триггеров. На рис. 15 представлен один из простейших вариантов схемы триггера на двух триодах. Схема представляет двухламповый усилитель с положительной обратной связью. На первый взгляд кажется, что при полной симметрии всех элементов схемы она бу-

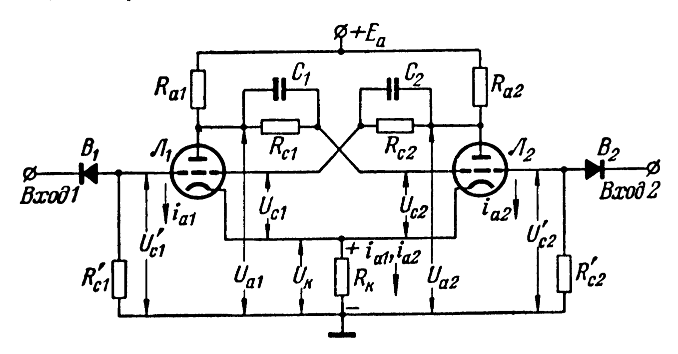


Рис. 15. Схема триггера на триодах.

дет находиться в состоянии равновесия и токи в обеих лампах i_{a1} и i_{a2} будут одинаковы. Однако при более детальном рассмотрении схемы оказывается, что это равновесие является неустойчивым. Как карандаш, даже при идеально вертикальной установке его на острие, упадет под действием какой-либо случайной причины (сотрясение, дуновение ветра и т. п.), причем мы не можем заранее предсказать, в какую сторону, так и триггер, предоставленный самому себе, перейдет в одно из двух устойчивых состояний, при котором ток в одной лампе достигнет некоторой максимальной, а во второй минимальной величины.

В самом деле, представим себе, что по какой-либо случайной причине ток i_{a1} в лампе $Л_1$ хотя бы незначительно увеличился. Это немедленно приведет к увеличению падения напряжения на сопротивлении R_{a1}, а следовательно, к уменьшению напряжения U_{a1} на аноде первой лампы. Но так как напряжение на сетке второй лампы U_{c2} складывается из отрицательного падения напряжения $U_к$ на сопротивлении $R_к$ и положительного падения напряжения U'_{c2} на сопротивлении R'_{c2}, причем U'_{c2} пропорционально U_{a1} $\left(U'_{c2}=U_{a1}\frac{R'_{c2}}{R_{c1}+R'_{c2}}\right)$, то уменьшение напряжения U_a приведет к снижению потенциала U_{c2} на сетке лампы $Л_2$, а значит, и к умень-

шению тока i_{a2}. Но уменьшение тока i_{a2} приведет к уменьшению падения напряжения на сопротивлении R_{a2}, повышению напряжения U_{a2} на аноде лампы $Л_2$ и повышению потенциала U_{c1} сетки лампы $Л_1$, так как U_{c1} зависит от $U_{a2}\left(U'_{c1}=U_{a2}\times\right.$ $\left.\times\frac{R'_{c1}}{R_{c2}+R'_{c1}}\right)$. Повышение потенциала U_{c1} вызовет дальнейшее увеличение тока i_{a1}, снижение потенциала U_{a1}, уменьшение тока i_{a2} и т. д.

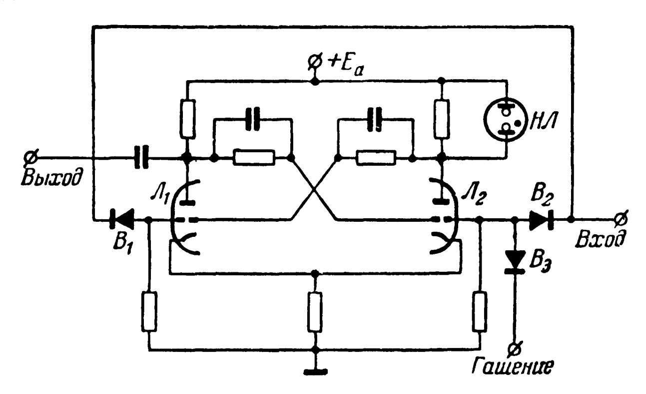


Рис. 16. Схема триггера как элемента счетной схемы.

При соответствующем подборе элементов схемы этот процесс будет нарастать лавинообразно и прекратится, когда ток i_{a1} в первой лампе достигнет некоторого наибольшего значения, а лампа $Л_2$ окажется запертой отрицательным напряжением $U_{c2}=$ $=-U_к+U'_{c2}$. Подобное состояние является устойчивым и будет сохраняться сколь угодно долго, пока на вход *1* не будет подан отрицательный импульс напряжения. Этот импульс вызовет резкое снижение тока i_{a1}, а значит, увеличение U_{a1} и U'_{c2}, что приведет к отпиранию второй лампы, увеличению i_{a2}, уменьшению U_{a2}, снижению U'_{c1} и, в конечном счете, к лавинообразному процессу, в результате которого триггер перейдет в новое устойчивое состояние, характеризующееся тем, что лампа $Л_1$ запирается, а ток в $Л_2$ достигает наибольшего значения. Для возвращения схемы в первое положение теперь нужно подать отрицательный импульс на сетку второй лампы (на вход *2*). Конденсаторы C_1 и C_2 служат для ускорения переброски триггера из одного устойчивого состояния в другое. Схема триггера собирается обычно не на двух отдельных лампах, а на двух половинах одного двойного триода или пентода.

Дополним теперь рассмотренную нами схему в соответствии с потребностями счетной техники (рис. 16). Соединим оба входа между собой, в результате чего образуется один общий вход, сделаем отвод от анода лампы $Л_1$ и назовем его выходом триггера, соединим сетку лампы $Л_2$ через вентиль B_3 еще с одним входом, который назовем входом гашения, и подключим параллельно сопротивлению R_{a2} неоновую лампу *НЛ*, которая, очевидно, будет го-

реть лишь в том случае, когда ток i_{a2} достигнет большой величины и создаст на сопротивлении R_{a2} достаточное падение напряжения. Условимся считать начальным состоянием триггера такое, когда ток в первой лампе наибольший, а вторая лампа заперта, и припишем этому начальному состоянию значение 0. Второе состояние, когда заперта первая лампа, а ток во второй лампе наибольший, назовем рабочим и припишем ему значение 1. Признаком рабочего состояния триггера является горение неоновой лампы *Н*.

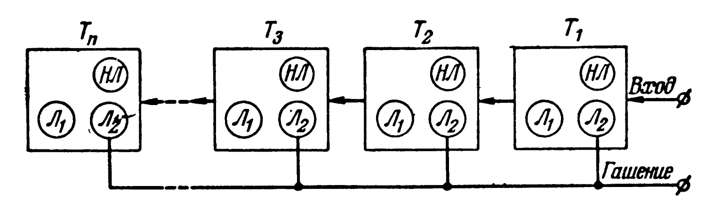


Рис. 17. Блок-схема счетчика на триггерах.

Отрицательный импульс, поданный на общий вход, попадает на сетки обеих ламп. Однако в запертой лампе он не вызовет никаких изменений, а в открытой лампе ток быстро снизится и триггер перейдет во второе устойчивое состояние. Таким образом, подача отрицательного импульса на общий вход вызывает переброску триггера из начального состояния в рабочее или из рабочего в начальное. При подаче отрицательного импульса на вход гашения он попадает лишь на сетку лампы $Л_2$, так как вентиль B_2 не пропускает его к лампе $Л_1$ и, следовательно, триггер переходит в начальное состояние. При переходе из начального состояния в рабочее потенциал на аноде лампы $Л_1$ резко повышается, что приводит к появлению на выходе триггера положительного импульса. При переходе из рабочего состояния в начальное потенциал U_{a1} резко падает и на выходе триггера появляется отрицательный импульс.

Рассмотрим теперь, как из нескольких триггеров можно составить схему счетчика импульсов. Для регистрации количества импульсов, которое выражается в двоичной системе счисления n-разрядным числом, счетчик должен содержать n триггеров Блок-схема счетчика приведена на рис. 17, причем каждый триггер $T_1, T_2, \ldots, T_n$ показан упрощенно в виде прямоугольника с двумя входами (для рабочих импульсов и импульсов гашения), одним выходом, двумя лампами $Л_1$ и $Л_2$ и неоновой лампой *НЛ*. Счетчик предназначен для фиксации количества поступающих на его вход отрицательных импульсов. При поступлении первого импульса триггер T_1 переходит в рабочее состояние, отчего зажигается лампа *НЛ*, и на вход триггера T_2 подается положительный импульс, который не изменяет его состояния, так как вентили B_1 и B_2 (рис. 16) не пропускают положительных импульсов в схему. Таким образом, после первого импульса установится состояние, характеризующееся первой строкой табл. 2.

Второй отрицательный импульс перебросит триггер T_1 в начальное состояние, его неоновая лампа погаснет, с него на триг-

Таблица 2

Номер импульса	Состояние триггеров: ○ — триггер в начальном состоянии, неоновая лампа не горит; ● — триггер в рабочем состоянии, неоновая лампа горит						Зафиксированное счетчиком число	
	T_n	...	T_4	T_3	T_2	T_1	в двоичной системе счисления	в десятичной системе счисления
1	○		○	○	○	●	0...0001	1
2	○		○	○	●	○	0...0010	2
3	○		○	○	●	●	0...0011	3
4	○		○	●	○	○	0...0100	4
5	○		○	●	○	●	0...0101	5
6	○		○	●	●	○	0...0110	6
7	○		○	●	●	●	0...0111	7
8	○		●	○	○	○	0...1000	8
9	○		●	○	○	●	0...1001	9
10	○		●	○	●	○	0...1010	10

гер T_2 поступит отрицательный импульс, который переведет последний в рабочее состояние (вторая строка табл. 2). Третий импульс вызовет переход триггера T_1 в рабочее состояние, четвертый импульс вызовет переход его в начальное состояние, причем будет выдан отрицательный импульс на триггер T_2, который также перейдет в начальное состояние и выдаст отрицательный импульс на триггер T_3, который перейдет в рабочее состояние, и т. д. Табл. 2 характеризует состояние счетчика после каждого нового импульса.

Для того чтобы стереть информацию, зафиксированную счетчиком, нужно перевести все входящие в него триггеры в начальное состояние подачей отрицательного импульса на вход гашения. При этом все триггеры, находившиеся в рабочем состоянии, выдадут отрицательные импульсы, которые могут быть использованы как импульсы считывания или выборки информации из счетчика.

Как уже упоминалось, количество триггеров, из которых состоит счетчик, должно соответствовать количеству разрядов зафиксированного числа в двоичной системе счисления. Так, например, для хранения числа 4 нужно три триггера, для хранения числа 9 — четыре триггера и т. д. Отсюда можно предположить, что для фиксации и последующего хранения большого числа импульсов понадобиться очень большое количество триггеров, но это не так. Например, для хранения числа 127 нужно лишь 7 триггеров, для хранения числа 4 095 — 12 триггеров, а для хранения числа 1 000 000 — лишь 20 триггеров. Однако запоминающие устройства на триггерах получаются все-таки громоздкими и требуют непрерывного расхода питания. Поэтому в настоящее время для хранения информации значительно более широкое применение находят другие устройства, описываемые дальше.

Рассмотрим теперь возможность применения триггера в качестве элемента арифметического устройства — сумматора. Схема одно-

разрядного сумматора на триггерах для последовательного сложения чисел в двоичной системе счисления приведена на рис. 18. Аноды ламп двух триггеров T_1 и T_2 питаются от источника $E_а$ через сопротивления R_1, R_2 и R_3, шины $Ш_1$, $Ш_2$ и $Ш_3$ и вентили $В_3$—$В_8$. По величине сопротивления R_1, R_2 и R_3 значительно больше сопротивлений ламп триггеров постоянному току. Поэтому, если какая-либо из ламп проводит ток, то на шинах, к которым она подключена, из-за большого падения напряжения на сопротивлениях потенциал будет весьма невелик. Если же к шине подключены только запертые

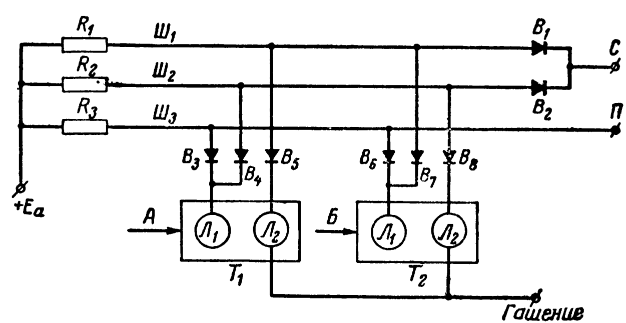


Рис. 18. Схема одноразрядного сумматора (полусумматора) на триггерах.

лампы, то на этой шине будет иметь место высокий положительный потенциал $E_а$. Напряжение на выходах схемы C (сумма) и $П$ (перенос) связано с потенциалами шин: напряжение на выходе $П$ равно потенциалу $Ш_3$ относительно земли, а на выходе C — равно более высокому из потенциалов $Ш_1$ или $Ш_2$. Благодаря наличию вентилей $В_1$ и $В_2$ шина с более высоким потенциалом не шунтируется через шину с низким потенциалом.

Условимся, что наличие на выходе высокого потенциала означает 1, а низкий потенциал соответствует 0, и проследим, как осуществляются в схеме операции сложения. Слагаемые A и $Б$ вводятся в триггеры T_1 и T_2. После сложения каждого из разрядов триггеры посылкой гасящего импульса должны быть переведены в начальное состояние, при котором ток в $Л_1$ максимальный, а лампа $Л_2$ заперта. Если $A=0$ и $Б=0$, т. е на входы триггеров не поступают импульсы, то оба триггера остаются в начальном состоянии, причем шина $Ш_1$ заземлена через $Л_1T_2$, шина $Ш_2$ — через $Л_1T_1$ и шина $Ш_3$ — через $Л_1T_1$ и $Л_1T_2$. Следовательно, на всех шинах будет низкий потенциал и на обоих выводах C и $П$ получим 0. Таким образом, реализуется операция сложения $0+0=0$. Если теперь число $A=1$ и $Б=0$, то триггер T_1 перейдет в рабочее состояние, причем шина $Ш_1$ будет заземлена через $Л_2T_1$ и $Л_1T_2$ шина $Ш_3$ — через $Л_1T_2$, а шина $Ш_2$ окажется незаземленной и высокий потенциал с нее попадет на выход C. Так будет реализована операция $1+0=1$ в сумме и 0 в переносе.

Аналогично будет работать схема и при $A=0$ и $Б=1$, только при этом высокий потенциал попадет на выход C с шины $Ш_1$. Если

$A=1$ и $Б=1$, то оба триггера перебросятся в рабочее состояние, шина $Ш_1$ заземлится через $Л_2T_1$, шина $Ш_2$ — через $Л_2T_2$, а шина $Ш_3$ окажется незаземленной, благодаря чему высокий потенциал с нее попадает на выход *П*. Так будет реализована операция сложения $1+1=0$ в сумме и 1 в переносе. Однако в таком виде сумматор позволяет складывать лишь одноразрядные числа, поэтому его называют также полусумматором.

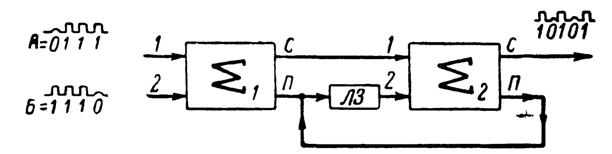


Рис. 19. Схема для последовательного суммирования многоразрядных чисел.

Для сложения чисел с любым количеством разрядов необходимо составить схему, состоящую из двух полусумматоров Σ_1 и Σ_2 и линии задержки *ЛЗ*, задерживающей проходящие через нее импульсы на один такт (рис. 19). Оба полусумматора совершенно одинаковы, и каждый из них собран по схеме на рис. 18, т. е. имеет два входа для ввода слагаемых *А* и *Б* и два выхода для вывода суммы и переноса. Действие схемы проследим на примере сложения чисел 7 (в двоичной системе 0111) и 14 (в двоичной системе 1110):

$$\begin{array}{r} 7 \rightarrow 0111 \\ +\;14 \rightarrow 1110 \\ \hline 21 \leftarrow 10101 \end{array}$$

Числа в виде последовательности импульсов подаются на соответствующие входы Σ_1 последовательно, разряд за разрядом, начиная с младшего разряда. Рассмотрим состояние схемы в различные моменты времени.

В первый такт на вход *1* полусумматора Σ_1 поступает импульс (1), на его входе *2* импульс отсутствует (0). При этом на выходе *С* первого полусумматора получаем импульс, который поступает на вход *1* полусумматора Σ_2, и в результате второй полусумматор дает на выходе *С* импульс. Во втором такте импульсы есть на обоих входах полусумматора Σ_1, и первый полусумматор выдает импульс на выходе *П*. Этот импульс проходит через линию задержки *ЛЗ* и попадает на вход полусумматора Σ_2 лишь в третьем такте. Следовательно, во втором такте на обоих входах второго полусумматора импульсы отсутствуют и на его выходе *С* импульса также не будет. В третьем такте на оба входа полусумматора Σ_1 снова поступают импульсы, дающие импульс на выходе *П* первого полусумматора, который попадает на вход полусумматора Σ_2 лишь в четвертом такте. В то же время за счет импульса на втором входе полусумматора Σ_2, поступившего от второго такта, на выходе *С* этого полусумматора в третьем такте получается импульс. В четвертом такте первый полусумматор, на один из входов которого подается импульс, выдает импульс на выходе *С*. Этот импульс

попадает на вход *1* полусумматора Σ_2, но от третьего такта через линию задержки *ЛЗ* попадет также импульс на его вход *2*, в результате чего на выходе *С* импульса не будет, а импульс получится на выходе *П*. Этот импульс в пятом такте, пройдя через линию задержки *ЛЗ*, окажется на входе *2* полусумматора Σ_2 и даст на его выходе *С* импульс.

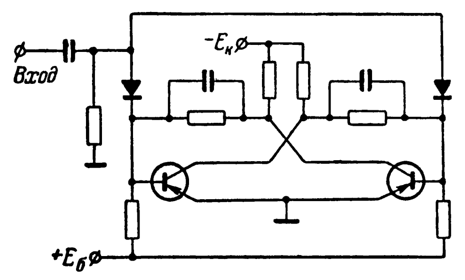


Рис. 20. Схема триггера на транзисторах.

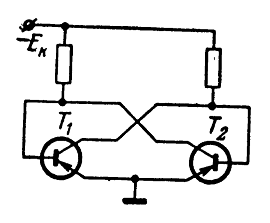


Рис. 21. Схема триггера с непосредственной связью.

При помощи описанного сумматора на триггерах можно осуществлять поразрядное (последовательное) сложение чисел с любым количеством разрядов, причем время, затрачиваемое на сложение, равно количеству разрядов суммы.

Описанные выше схемы могут быть, конечно, построены не только на ламповых триггерах, но и на более экономичных и малогабаритных триггерах на транзисторах, являющихся основными элементами в схемах современной вычислительной техники.

На рис. 20 показана схема триггера с общим входом, собранного на двух плоскостных транзисторах Переброска триггера в новое состояние происходит при поступлении на общий вход очередного положительного импульса. При этом, как и в ламповом триггере, отпирание одного транзистора создает за счет связи между их цепями условия для запирания другого, и наоборот.

Весьма простой и экономичной является схема триггера с непосредственной связью (рис. 21). В эту схему входят лишь два транзистора и два сопротивления. Принцип ее работы заключается в следующем. Если один из транзисторов, например T_1, открыт, то напряжение на его коллекторе мало и недостаточно, чтобы открыть транзистор T_2. При этом напряжение на коллекторе транзистора T_2 велико и достаточно, чтобы поддерживать транзистор T_1 в открытом состоянии.

Для опрокидывания триггера необходимо понизить напряжение на базе открытого транзистора или, что то же самое, на коллекторе запертого транзистора. Управление таким триггером требует, как правило, применения дополнительных транзисторов, что снижает основное преимущество — исключительную простоту схемы.

Триггеры с непосредственными связями на высокочастотных поверхностно-барьерных транзисторах нашли применение в некоторых вычислительных машинах США.

Особенно высоким быстродействием отличаются триггеры на так называемых туннельных диодах. Время переключения триггера на

туннельных диодах может достигать единиц и даже долей наносекунд. Этим определяется то, что в ряде стран ведутся перспективные разработки кибернетических машин на туннельных диодах, которые будут обладать быстродействием порядка десятков миллионов арифметических операций в секунду.

8. УСТРОЙСТВА ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Применяемые для хранения информации в машинах запоминающие устройства характеризуются такими основными показателями, как емкость, длительность и надежность сохранения информации, время обращения, габариты, стоимость и экономичность.

В машинах различают два основных вида «памяти»: оперативную, или внутреннюю, и внешнюю. Первая непосредственно связана с арифметическим устройством и предназначается для хранения сравнительно ограниченной по объему информации, необходимой для ближайших вычислений. В современных машинах емкость оперативной памяти ограничивается в большинстве случаев несколькими тысячами чисел, хотя иногда достигает и десятков, и даже сотен тысяч чисел.

Основным требованием, предъявляемым к устройствам оперативной памяти, является сокращение времени так называемого полного цикла обращения, т. е. суммарного времени, необходимого для считывания и записи информации. Это время составляет единицы или десятки микросекунд, хотя в лучших образцах машин оно снижено уже до долей микросекунды.

Внешняя «память» предназначается для длительного хранения большого количества информации, измеряемой сотнями тысяч и миллионами чисел. Внешние запоминающие устройства часто называют накопителями. Они характеризуются значительно меньшей скоростью записи и выборки (считывания) информации и связываются с арифметическими устройствами, как правило, через оперативную память.

Кроме того, за последние годы, особенно в специализированных машинах, все чаще применяются так называемые постоянные или долговременные запоминающие устройства, предназначенные для хранения некоторой неизменной информации — постоянных программ, коэффициентов, таблиц, справочных данных. Эти устройства имеют емкость порядка тысяч — десятков тысяч чисел, а в некоторых специальных случаях и миллионов чисел, и так как в них в процессе работы не производится запись информации, а только считывание, то время цикла обращения может составлять доли микросекунды.

Рассмотрим различные конкретные запоминающие устройства (*ЗУ*), предназначенные для хранения информации. Запомним при этом, что, выражая числа в двоичной системе в виде единиц и нулей, мы можем записывать эти числа, применяя двухпозиционные технические элементы и считая, что заряженный конденсатор, намагниченный сердечник, притянутое реле, проводящая лампа и т. п. соответствуют записи единицы, а незаряженный или заряженный противоположным знаком конденсатор, ненамагниченный или намагниченный противоположно сердечник, отпущенное реле, запертая лампа соответствуют записи нуля.

Электромеханические и электронные реле. В первых образцах вычислительных устройств в качестве *ЗУ* широко применялись электромеханические реле. Однако такие *ЗУ* при ограниченной емкости (порядка сотен чисел) имеют довольно большие габариты, потребляют значительное количество электроэнергии и допускают относительно малые скорости записи и считывания, так как для срабатывания реле требуется время не меньше нескольких миллисекунд

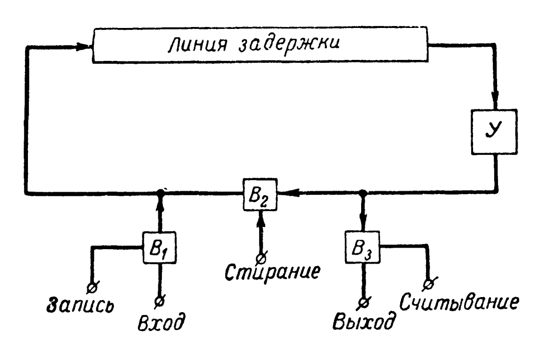


Рис. 22. Блок-схема запоминающего устройства на линии задержки.

Кроме того, наличие механических контактов резко ухудшает надежность таких *ЗУ*. Значительно более надежные и быстродействующие *ЗУ* могут быть построены на электронных триггерах — бесконтактных элементах со временем срабатывания, исчисляемым долями микросекунды. Однако *ЗУ* на триггерах также имеют относительно большие габариты, непрерывно потребляют электрический ток и поэтому применяются лишь в качестве малоемких оперативных *ЗУ*, рассчитанных на хранение одного или нескольких чисел.

Линии задержки. Запоминающие устройства на линиях задержки представляют собой одну из форм так называемой динамической памяти, при которой коды чисел в виде серии импульсов непрерывно циркулируют по замкнутой цепи (рис. 22). Линия задержки представляет собой электрическую систему, по которой импульсы распространяются с относительно малой скоростью v. Пусть линия задержки имеет длину l, тогда время распространения импульсов по ней будет $t=l/v$. Если подавать на линию задержки импульсы с частотой f, то общее количество импульсов, которые могут одновременно перемещаться вдоль линии задержки, будет $n=ft$. Вентили B_1, B_2 и B_3 играют роль переключателей, управляемых электрическим путем. Кодовые импульсы чисел вводятся на вход и, если на вентиль B_1 подано отпирающее напряжение, пропускаются этим вентилем в линию задержки, проходят по ней, испытывая некоторое затухание, которое компенсируется усилителем *У*, проходят через вентиль B_2, нормально пропускающий импульсы, вновь поступают в линию задержки и т. д. При необходимости прочитать циркулирующее по системе число на вход *считывание* подается управляющее напряжение, которое отпирает нор-

мально закрытый вентиль B_3, и импульсы ответвляются на выход системы, однако циркуляция их по системе продолжается. Для стирания записи подается напряжение на вход *стирание*, причем вентиль B_2 запирается, циркуляция импульсов прекращается и *ЗУ* готово для записи новой информации.

В первых электронных машинах, которые строились в конце 40-х гг., широко применялись оперативные *ЗУ* на ртутных линиях задержки, представляющих собой трубки, наполненные ртутью, на концах которых помещены кристаллы пьезоэлектрика, например кварца. На вход трубки подаются модулированные импульсами колебания высокой частоты, которые вызывают механические колебания кварца, передаваемые им ртути. Эти колебания распространяются по ртути со скоростью около 1 500 *м/сек*, передаются на выходе трубки кварцу, который превращает их в электрические колебания, снова поступающие на вход трубки. В ртутной линии задержки длиной около метра практически удается хранить до 1 000 импульсов. Кроме ртутных линий задержки, в *ЗУ* могут применяться магнитострикционные линии, в которых используются колебания ферромагнитного стержня при его перемагничивании, пьезоэлектрические, электромагнитные, состояние из индуктивностей и емкостей или сопротивлений и емкостей, волноводные и другие линии задержки. *ЗУ* на линиях задержки характеризуются большой надежностью работы, но недостатком их является то, что считывание информации может происходить только в момент прохождения соответствующих сигналов мимо вентиля B_3, что замедляет выборку информации

В настоящее время только в небольших машинах применяются *ЗУ* подобного типа на магнитострикционных линиях задержки.

Электронно-лучевые ЗУ. Для хранения информации в машинах, выпускавшихся в начале 50-х гг., широко применялись электронно-лучевые трубки, напоминающие кинескопы. Существует несколько типов запоминающих электронно-лучевых трубок, однако общий принцип их работы можно описать следующим образом.

Запись информации происходит на диэлектрическом экране, в любое место которого луч может быть направлен соответствующим подбором напряжений на отклоняющих пластинах. Изменяя скорость потока электронов и напряжение на расположенной за диэлектрическим экраном сигнальной пластине, можно, используя явление вторичной электронной эмиссии, сообщить любой точке экрана положительный или отрицательный электрический заряд. Приписывая, предположим, положительному заряду значение 1, а отрицательному — значение 0, можно записать на экране код числа.

Для считывания информации нужно повторно направлять луч в соответствующие точки экрана, что обеспечивает при подаче соответствующего напряжения на сигнальную пластину получение импульсов в ее цепи. При считывании происходит одновременно и стирание записи. Поэтому, если запись необходимо сохранить, то импульсы считывания вновь используются для возобновления записи на экране.

Такой же способ применяется и для длительного хранения информации: во избежание стирания ее вследствие постепенного стекания зарядов в схеме обеспечиваются периодическое стирание и новая запись информации. Обычно в каждой трубке хранится

лишь один разряд числа, поэтому для записи n-разрядных чисел *ЗУ* должно содержать n трубок. На экране каждой трубки применяемых типов удается записать 1 024 или 2 048 единиц информации, хотя описаны трубки емкостью 16 000 и более двоичных разрядов. Если *ЗУ* состоит, скажем, из 20 трубок, то в нем одновременно может храниться 1 024 или 2 048 двадцатиразрядных чисел.

Запись и считывание информации в электронно-лучевых *ЗУ* происходят очень быстро, в единицы микросекунд, и в любой последовательности. Это выгодно отличает электронно-лучевые *ЗУ* от линий задержки, где требуется ждать момента прохождения нужной серии импульсов мимо вентиля считывания. Поэтому в течение нескольких лет память на электронно-лучевых трубках являлась основным видом оперативной памяти в быстродействующих универсальных цифровых машинах. Однако недостатками такого *ЗУ* являются его относительная громоздкость и жесткие требования к стабильности напряжения источников питания. Поэтому в настоящее время подавляющее большинство машин строится с оперативной памятью на магнитных сердечниках.

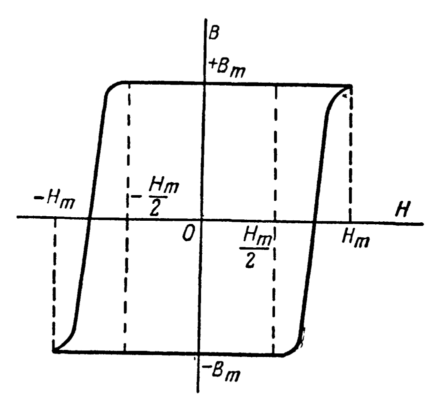


Рис. 23. Идеализированная петля гистерезиса магнитного материала.

ЗУ на магнитных сердечниках. Для изготовления ЗУ на магнитных сердечниках используются магнитные материалы (ферриты) с прямоугольной петлей гистерезиса. Как видно из рис. 23, на котором представлена идеализированная прямоугольная петля гистерезиса магнитного материала, при величине напряженности поля $+H_m$ индукция в магнитном материале достигает величины $+B_m$ и, если мы теперь будем уменьшать напряженность поля до нуля или даже создадим напряженность противоположного направления порядка $-H_m/2$ и более, индукция будет сохранять свое значение $+B_m$. Только при приближении величины напряженности к $-H_m$ происходит перемагничивание материала, индукция достигает величины $-B_m$ и для нового перемагничивания необходимо создать напряженность поля $+H_m$. Таким образом, материал с прямоугольной петлей гистерезиса характеризуется наличием двух устойчивых состояний ($B=+B_m$ и $B=-B_m$), причем перевести материал из одного устойчивого состояния в другое можно, создавая напряженность поля $+H_m$ или $-H_m$.

Из такого ферромагнитного материала изготовляются кольцевые сердечники, обеспечивающие хранение информации в форме двоичных знаков (0 или 1), соответствующих той или другой полярности магнитного состояния сердечников. На каждом сердечнике располагают три обмотки: две для записи и одну для считывания информации. Сердечники располагают в виде системы, со-

стоящей из правильных горизонтальных и вертикальных рядов (рис. 24), причем каждый горизонтальный ряд служит для записи всех разрядов одного числа, а каждый вертикальный ряд для записи одного из разрядов всех чисел. Таким образом, количество горизонтальных рядов определяет количество чисел, которое может храниться в *ЗУ*, а количество вертикальных рядов — максимальное количество разрядов в каждом числе.

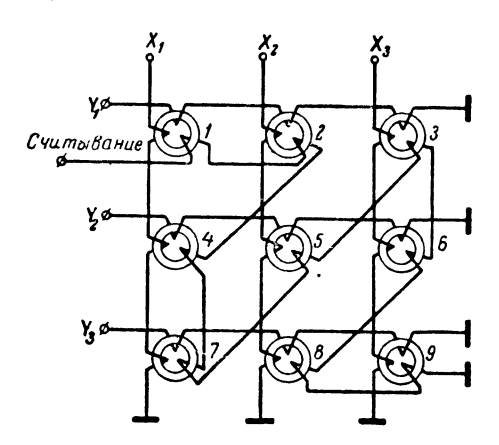


Рис. 24. Схема запоминающего устройства на кольцевых магнитных сердечниках.

Обмотки соединены между собой, как показано на рис. 24, по рядам, а все обмотки считывания составляют последовательную цепь. Величина тока, поступающего на входы X_1, $X_2, \ldots, X_n$ и Y_1, $Y_2, \ldots, Y_n$, равна $I_m/2$, где I_m — величина тока, необходимая для создания напряженности поля H_m. Таким образом, прохождение тока только по одной из обмоток сердечника не может изменить его магнитного состояния. Если же пропустить токи по обеим обмоткам так, чтобы создаваемые ими напряженности поля складывались, то этим будет обеспечено полное перемагничивание сердечника. Примем за начальное состояние отрицательную намагниченность всех сердечников, для создания которой нужно на входы всех вертикальных и горизонтальных рядов подать отрицательное напряжение.

Пусть мы хотим во втором горизонтальном ряду записать число 101. Подадим для этого на вход Y_2 положительное напряжение и на входы X_1 — положительное (1), X_2 — отрицательное (0) и X_3 — положительное (1) напряжение. Тогда в сердечниках *4* и *6* будет создана положительная напряженность, достаточная для их перемагничивания в состояние положительной намагниченности. Сердечник *5* остается в состоянии отрицательной намагниченности. В таком виде информация может храниться неограниченное время без всякой затраты энергии. Если теперь требуется прочитать записанное число, то на соответствующий горизонтальный вход (в на-

шем случае на вход Y_2) подается отрицательное напряжение, а на все вертикальные входы X_1, X_2, ..., X_n — отрицательные импульсы напряжения последовательно один за другим При подаче импульса на вход X_1 произойдет перемагничивание сердечника *4*, вследствие чего в считывающей обмотке индуктируется электродвижущаяся сила, которая создаст импульс на выходе считывания. Подача импульса на вход X_2 не вызовет перемагничивания сердеч-

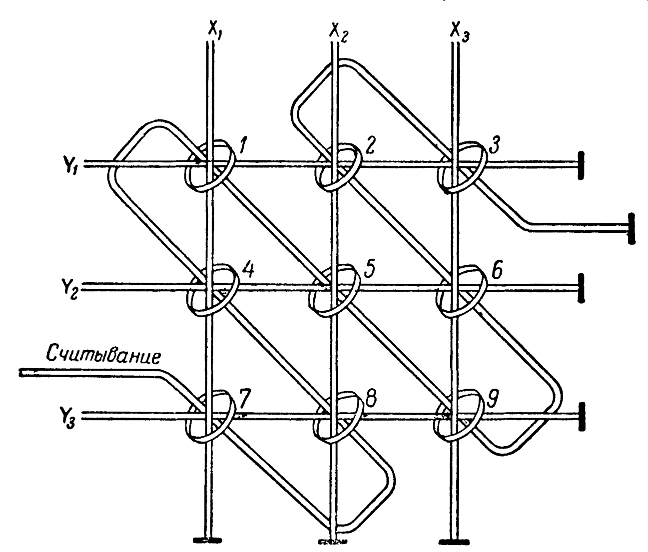


Рис. 25. Запоминающее устройство на кольцевых сердечниках с пронизывающими проводниками вместо обмоток.

ника *5*, так как он был намагничен отрицательно, и на выходе мы не получим импульса; наконец, при подаче импульса на вход X_3 перемагнитится сердечник *6* и на выходе получим импульс. Для удешевления устройства и упрощения его изготовления обмотки на сердечниках могут быть заменены просто проводниками, продетыми сквозь кольцевые сердечники, как показано на рис. 25.

Однако рассмотренная схема *ЗУ* обладает существенными недостатками, которые заключаются в том, что, во-первых, здесь осуществляется поразрядное считывание и, следовательно, считывание многоразрядного числа требует значительного времени и, во-вторых, по такой схеме практически невозможно построить *ЗУ* большой емкости.

Поэтому в *ЗУ* с совпадением токов большой емкости применяют для каждого разряда всех чисел отдельную плоскую матрицу, в которой содержится количество сердечников, равное емкости *ЗУ* в числах. Следовательно, *ЗУ*, предназначенное для хранения N чисел по n разрядов каждое, должно содержать n матриц по N сер-

дечников в каждой. Эти матрицы собираются в общий блок. Схематический вид подобного блока, или, как его часто называют, «куба памяти» емкостью 4 096 40-разрядных чисел представлен на рис. 26. Блок включает 40 матриц, в каждой из которых содержится 64×64=4 096 ферритовых сердечников.

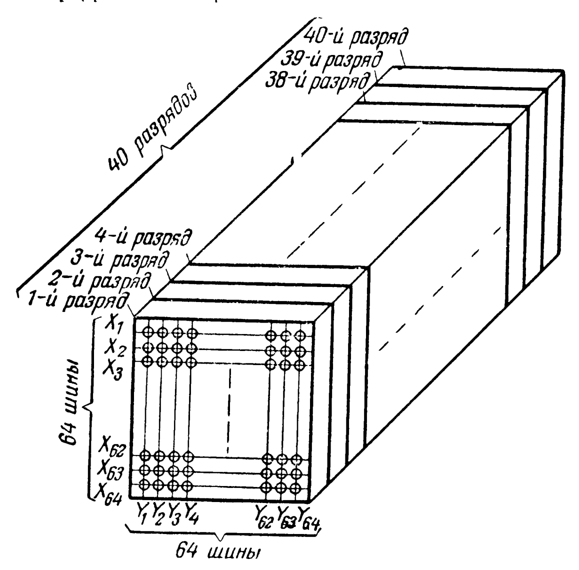


Рис. 26. Схематический вид блока запоминающего устройства с совпадением токов.

На рис. 27 показана схема внутриматричных соединений, причем для упрощения изображена матрица всего с 16 сердечниками. Для выбора заданной числовой ячейки служат восемь выбирающих (селектирующих) шин: X_1, X_2, X_3, X_4 и Y_1, Y_2, Y_3, Y_4. Шина X_1 пронизывает все сердечники первого горизонтального ряда матрицы, идет ко второй матрице, пронизывает все сердечники ее первого горизонтального ряда и далее, пройдя таким же образом через все матрицы, заземляется. Таким же образом монтируются все остальные горизонтальные шины X и вертикальные шины Y.

Следовательно, при посылке совпадающих по направлению и во времени импульсов тока с амплитудой $I_m/2$ по любой паре, включающей одну вертикальную и одну горизонтальную шину, обеспечивается перемагничивание в то или иное состояние всех расположенных в одном и том же месте сердечников во всех матрицах. Так, если подать положительные импульсы с амплитудой $I_m/2$ на входы X_3 и Y_4, то во всех матрицах перемагнитятся сердечники *12*, т. е. во всех разрядах числовой ячейки № 12 будет записан код 1.

Кроме селектирующих шин, в каждой матрице имеются еще две обмотки — записи и считывания, отдельные для каждой матрицы.

При записи в данном разряде 1 на вход обмотки записи никакого тока не подается, и под влиянием токов селектирующих шин в данной матрице записывается единица. Если же в данной матрице в избранном сердечнике должен быть записан нуль, то в обмотку записи подается огрицательный импульс с амплитудой $I_m/2$, который компенсирует половину напряженности поля, создаваемого положительными импульсами в селектирующих шинах. Поэтому из-

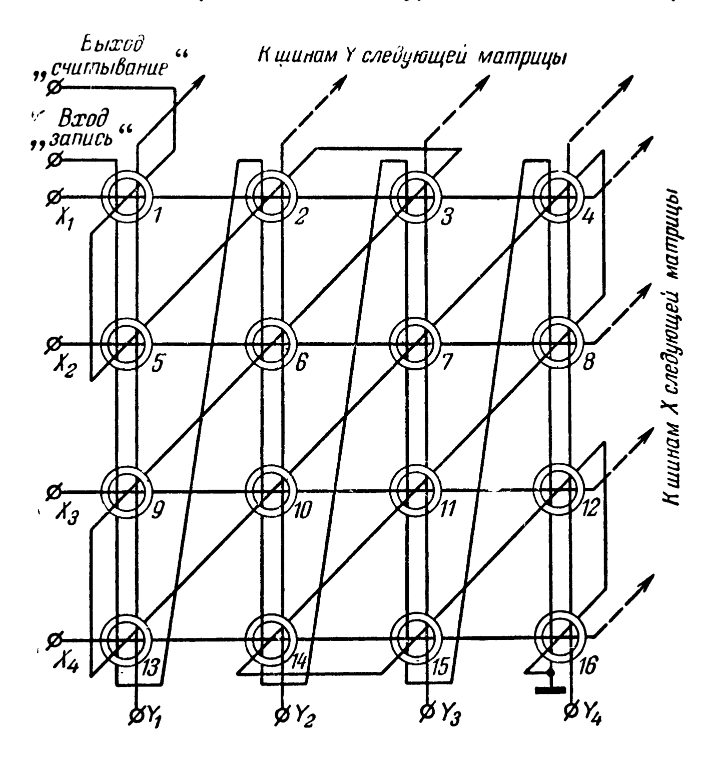


Рис. 27. Схема матрицы запоминающего устройства с совпадением токов.

бранный сердечник остается в начальном, т. е. нулевом, состоянии.

Считывание же осуществляется путем посылки в соответствующие селектирующие шины отрицательных импульсов с амплитудой $I_m/2$, причем избранные сердечники во всех разрядных матрицах перемагничиваются в нулевое состояние и те из них, в которых была записана единица, индуктируют в обмотке считывания импульсы считывания единицы. Таким образом обеспечиваются одновременные (параллельные) запись и считывание всех разрядов многоразрядных двоичных чисел.

Наряду с описанной схемой *ЗУ* с совпадением токов, разработан ряд других схем, обеспечивающих более высокую скорость и надежность работы (*ЗУ* с непосредственной выборкой, с записью и считыванием полными токами и др.).

Благодаря большой скорости работы, надежности и относительно небольшим габаритам и экономичности *ЗУ* на магнитных сердечниках являются сейчас наиболее распространенным типом оперативных *ЗУ* в кибернетической технике. Дальнейшие пути совершенствования оперативных *ЗУ* на ферромагнитных элементах заключаются в применении элементов сложных конфигураций (так называемых трансфлюксоров), многоотверстных ферритовых пластин, заменяющих матрицы с большим количеством сердечников и, наконец, тонких магнитных пленок.

Последние представляют собой слои пермаллоя толщиной порядка сотен или тысяч ангстрем, получаемые путем осаждения паров металла в вакууме или электролитическим путем. Благодаря очень малой толщине, а следовательно, и малым объемам перемагничиваемого материала, запоминающие элементы на тонких магнитных пленках могут перемагничиваться за единицы — десятки наносекунд, что дает возможность строить на них так называемые сверхоперативные *ЗУ* с временем полного цикла обращения порядка десятых и даже сотых долей микросекунды.

Магнитные ленты, барабаны и диски. Для хранения большого количества чисел во внешних *ЗУ* в машинах широко используется магнитная запись электрических импульсов по тому же принципу, что и запись звука на магнитофоне (рис. 28). При движении ленты на ней под действием магнитного поля, создаваемого записывающей головкой, создаются намагниченные участки — диполи. На сантиметре длины ленты удается записать в зависимости от метода записи, конструкции головки, магнитных характеристик и скорости перемещения ленты десятки и даже сотни диполей при ширине дорожек записи от 1 до 3 *мм*. В общем на одном рулоне ленты можно записать несколько десятков или сотен тысяч многоразрядных чисел. Для считывания может применяться та же головка, что и для записи: при прохождении мимо головки диполей, записанных на ленте, в ее обмотке индуктируются импульсы считывания.

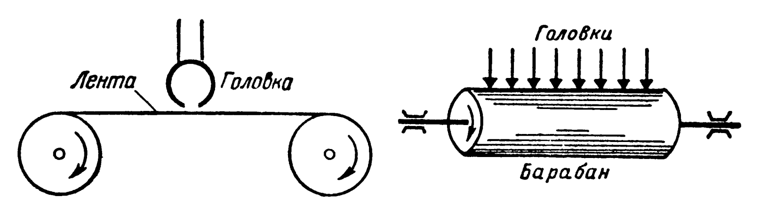


Рис. 28. Схема запоминающего устройства на магнитной ленте.

Рис. 29. Запоминающее устройство на магнитном барабане.

Недостатком *ЗУ* на магнитной ленте является относительно длительное ожидание при выборке нужного числа, связанное с необходимостью перемотки ленты. Этот недостаток устраняется при

хранении информации на магнитных барабанах (рис. 29). Барабан изготовляется из алюминия, на поверхности которого наносится ферромагнитный слой толщиной 0,01—0,03 *мм*. Записывающие и считывающие головки располагаются в ряд по образующим барабана. При работе барабан непрерывно вращается со скоростью порядка тысяч или десятков тысяч оборотов в минуту. На одном барабане удается хранить несколько тысяч или десятков тысяч чисел. Так как путем надлежащего выбора головки любое место барабана оказывается доступным за один оборот, то время записи

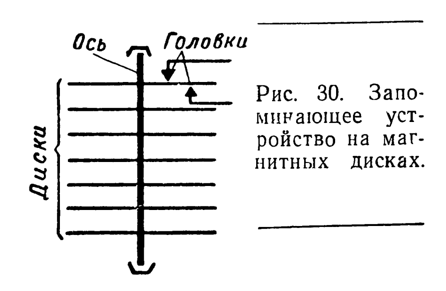


Рис. 30. Запоминающее устройство на магнитных дисках.

и считывания составляет около единиц или десятков миллисекунд, т. е. значительно меньше, чем при записи на ленту. Однако габариты *ЗУ* на барабане намного больше, так как внутренняя полость его совершенно не используется.

Для одной из моделей вычислительных машин (США) разработано *ЗУ* на 50 магнитных дисках, насаженных на непрерывно вращающуюся со скоростью 1 200 *об/мин* вертикальную ось (рис. 30). Расстояние между дисками составляет около 8 *мм*, что позволяет подводить головки к любой из 100 концентрических дорожек, расположенных на каждой из двух сторон диска. Общая емкость такого устройства достигает нескольких сотен тысяч чисел, запись и выборка которых могут производиться в любой последовательности в течение времени, необходимого для того, чтобы подвести головку к нужной дорожке, т. е. порядка долей секунды.

Описанные способы магнитной записи информации обладают существенными достоинствами: большой емкостью, простотой устройства, высокой надежностью, возможностью считывания информации без ее стирания, возможностью сколь угодно длительного хранения информации без ее регенерации и при отключенных источниках питания. К недостаткам магнитной записи относятся наличие механических движений, а следовательно и изнашиваемости деталей, необходимость точного соблюдения скоростей вращения и точности величины магнитных зазоров, а также относительно большое время записи и считывания. Тем не менее, магнитная запись является в настоящее время основным видом внешней памяти машин.

9. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Арифметические устройства электронных цифровых машин предназначаются для выполнения сложения чисел, выраженных в двоичной системе сложения. В § 7 был описан сумматор, построенный

на триггерах. В современных машинах распространение получили также разнообразные арифметические устройства, построенные на так называемых логических схемах Рассмотрим три простейшие логические схемы: инвертора, совпадения и собирательную, используя которые можно построить арифметические устройства.

В схеме инвертора (рис. 31) на сетку триода подан большой отрицательный потенциал — E_c, запирающий лампу. Анодный ток i_a равен нулю; напряжение на сопротивлении R не падает и на выходе получается высокое напряжение E_a. При подаче на вход положительного потенциала лампа отпирается, а так как сопротивление R много больше сопротивления лампы постоянному току, напряжение на выходе становится весьма малым вследствие падения напряжения на сопротивлении R. Таким образом, при отсутствии сигнала на входе имеет место сигнал на выходе, и наоборот. В блок-схемах инвертор будем обозначать прямоугольником с надписью *НЕ*.

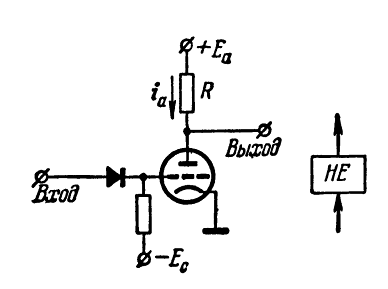


Рис. 31. Схема инвертора.

Схема совпадения (рис. 32) представляет собой многополюсник с любым количеством входов и одним выходом. Если на все входы подать положительный сигнал, то все вентили будут заперты, ток через сопротивление R проходить не будет, на нем не будет создаваться падение напряжения, и на выходе будет иметь место напряжение E_a Если хотя бы на одном из входов положительный сигнал будет отсутствовать, то через соответствующий вентиль и сопротивление будет проходить ток, отчего напряжение на выходе станет весьма мало. Таким образом, сигнал на выходе схемы совпадения имеет место, лишь когда есть сигналы и на первом, и на втором, и на любом входе. В блок-схемах будем обозначать эту схему прямоугольником с надписью *И*.

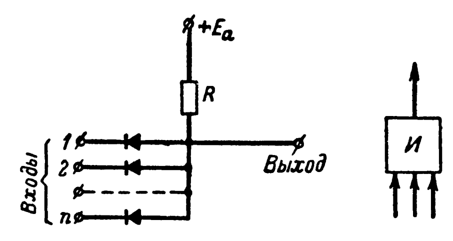


Рис. 32. Схема совпадения.

Собирательная схема (рис. 33) дает положительный сигнал на выходе, когда есть положительный сигнал хотя бы на одном из входов. Другими словами сигнал на выходе получается, когда есть сигнал или на первом, или на втором, или на любом из входов, или на нескольких входах одновременно в любой комбинации. В блок-схемах такая схема обозначается прямоугольником с надписью *ИЛИ*.

Мы рассмотрели по одному варианту логических схем *НЕ*, *И* и *ИЛИ*. Любая из этих трех логических функций может быть реализована при помощи большого количества вариантов различных

схем, собранных на вакуумных и полупроводниковых диодах и триодах, а также и на других элементах. В частности, за последние годы разработаны логические схемы на ферромагнитных сердечниках, что позволяет строить вычислительные машины, совершенно не содержащие электронных приборов. Учитывая неограниченный срок службы ферромагнитных сердечников, возможность эксплуатации их при значительных колебаниях температуры, механическую прочность, малые габариты и другие преимущества, следует отметить, что создание безламповых машин на ферритовых сердечниках весьма перспективно.

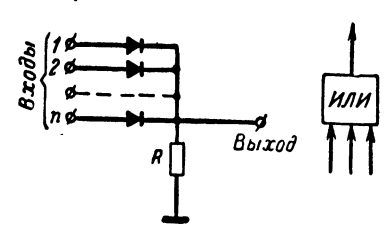
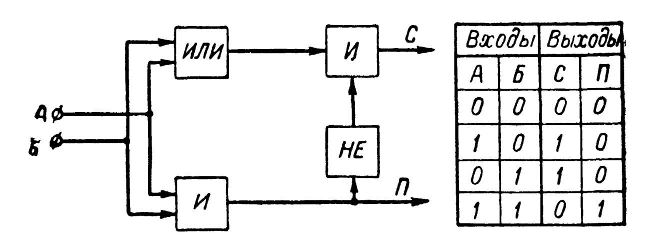


Рис. 33. Собирательная схема.



Входы		Выходы	
А	Б	С	П
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

Рис. 34. Схема и логическая таблица одноразрядного сумматора (полусумматора) на логических элементах.

На рис. 34 приведена схема одноразрядного сумматора последовательного действия на логических элементах. Слагаемые в виде электрических импульсов вводятся на входы *А* и *Б* сумматора, имеющего два выхода: *С* — сумма и *П* — перенос в следующий разряд. Помня функции логических схем *НЕ*, *И* и *ИЛИ*, нетрудно проследить порядок работы сумматора, записанный в виде таблицы на рис. 34.

Для последовательного сложения многоразрядных чисел можно воспользоваться схемой на рис. 19, уже рассмотренной нами ранее при использовании сумматора на триггерах. В данном случае схема остается совершенно неизменной, только вместо сумматора на триггерах мы можем использовать в ней сумматоры на логических элементах. Последовательное сложение многоразрядных чисел происходит за столько тактов, сколько разрядов имеют слагаемые.

Для повышения скорости действия вычислительных машин можно применять более сложные схемы сумматоров, обеспечивающие

одновременное сложение всех разрядов слагаемых. При этом сложение многоразрядных чисел осуществляется за один такт работы машины. Однако количество элементов в сумматорах и количество соединительных проводов с устройствами памяти при этом значительно увеличиваются, так как в арифметическое устройство должны одновременно вводиться все разряды слагаемых.

Простая схема такого сумматора параллельного действия представлена на рис. 35. Для параллельного сложения двух n-разряд-

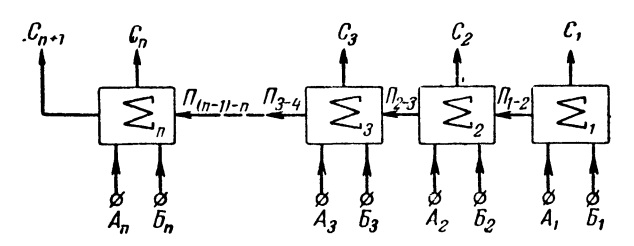
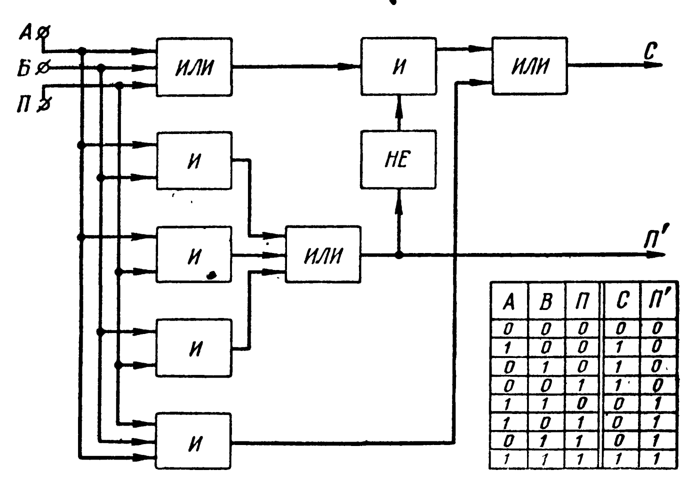


Рис. 35. Многоразрядный сумматор параллельного действия.



А	В	П	С	П'
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
0	1	0	1	0
0	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	0	1	0	1
0	1	1	0	1
1	1	1	1	1

Рис. 36. Схема и логическая таблица одноразрядного двоичного сумматора на три входа.

ных чисел сумматор должен содержать n одноразрядных сумматоров Σ_1, Σ_2, ..., Σ_n. На оба основных входа A_i и $Б_i$ каждого одноразрядного сумматора подаются соответствующие разряды слагаемых A и $Б$. Каждый блок Σ_i имеет два выхода — суммы C_i и переноса $П_i$, причем последний соединяется с третьим дополнительным входом одноразрядного сумматора Σ_{i+1}. Таким образом, в конечном счете каждый одноразрядный сумматор должен содержать три

входа *А*, *Б* и *П* и два выхода *С* и *П′*, где *П′* — выход переноса в следующий разряд.

Схема и логическая таблица такого одноразрядного двоичного сумматора на три входа, построенного на логических элементах, приведены на рис. 36.

10. УСТРОЙСТВА ВВОДА И ВЫВОДА

Связь машины с внешней средой осуществляется через специальные устройства для ввода и вывода данных — через входные и выходные устройства. Вводить в машину нужно исходные данные для вычислений, т. е. числа и программу работы — описание тех действий, которые машина должна произвести над исходными данными. Как будет показано в следующем параграфе, программа работы кодируется системой чисел.

Таким образом, все, что подлежит вводу в машину — это серия расположенных в определенном порядке чисел. Для этой цели применяется устройство с клавиатурой, подобной клавиатуре пишущей машинки. Однако при ударе по клавише цифра не печатается на бумаге, а происходит пробивание отверстий на специальных бумажных картах, ленте или кинопленке. Перфорированные таким образом карты, лента или пленка представляют собой своеобразные запоминающие устройства, хранящие информацию, вводимую в машину. Для считывания информации может применяться либо механический способ прощупывания карты или ленты специальными щеточками, замыкающими при наличии отверстий электрическую цепь, либо более совершенный фотоэлектрический способ.

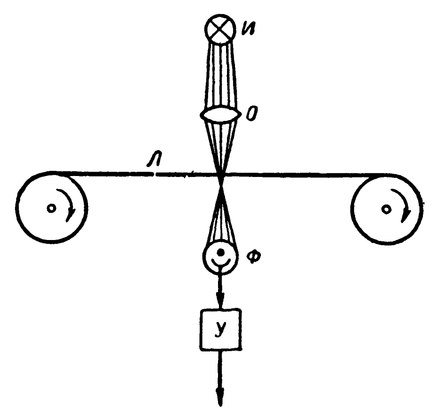


Рис. 37. Фотоэлектрический способ считывания информации при вводе данных в машину.

Л — перфорированная лента; *И* — источник света; *О* — оптическая линза; *Ф* — фотоэлемент; *У* — усилитель.

При фотоэлектрическом считывании (рис. 37) луч света от источника, сконцентрированный оптической линзой, проходит через отверстия (перфорации) в ленте и воздействует на фотоэлемент, который превращает посылки света в электрические импульсы, усиливаемые усилителем и поступающие затем в запоминающее устройство машины.

Вывод данных из машины может осуществляться также при помощи перфорированной ленты, электромеханического или фотопечатающего устройства. Печатание результатов вычислений происходит в общепринятой десятичной системе счисления, для чего в выходном устройстве имеются специальные дешифраторы, при помощи

которых происходит перевод чисел из двоичной в десятичную систему.

Здесь приведены сведения об устройствах ввода и вывода машин, решающих некоторые вычислительные задачи, условия которых задаются машине человеком, и результаты решения в свою очередь выдаются машиной в числовом виде, удобном для использования человеком. Однако в том случае, когда кибернетическая машина решает задачи, связанные с автоматическим управлением или регулированием (см. блок-схему на рис. 8), на ее вход чаще всего поступают извне данные в виде непрерывных сигналов, а машина должна далее обеспечивать некоторые непрерывные воздействия на управляемый объект.

В этом случае ввод данных в машину не требует применения промежуточных перфоносителей, а осуществляется путем автоматического преобразования непрерывной информации в дискретную (цифровую) форму. В свою очередь, при выводе дискретной информации из машины ее нужно, как правило, преобразовать в непрерывную форму. Эти функции выполняются специальными преобразователями информации, выполняющими роль связующих звеньев между реальными объектами систем автоматического управления и цифровыми машинами.

11. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ

Преобразователи информации можно разделить на две основные группы: преобразователи непрерывной (аналоговой) формы информации в цифровую, которые в дальнейшем будем называть преобразователями аналог-цифра и преобразователи из цифровой формы в аналоговую, которые будем называть преобразователями цифра-аналог.

Назначением преобразователей первой группы (аналог-цифра) является получение в определенные моменты чисел, соответствующих мгновенным значениям поступающей на вход преобразователя величины, непрерывно изменяющейся во времени. При этом шагом квантования непрерывной величины по уровню определяется точность преобразования, а шагом квантования по времени — темп ввода информации в цифровую машину.

Преобразователи цифра-аналог предназначаются для получения аналоговых величин, пропорциональных с учетом заданного масштаба числам, поступающим на вход преобразователя из цифровой машины. При этом аналоговые значения выдаются в дискретные моменты времени и, следовательно, выходная величина имеет вид некоторой ступенчатой функции с определенным шагом по уровню.

Преобразователи аналог-цифра чаще всего применяются на практике для преобразования в цифровую форму таких аналоговых величин, как угловые перемещения, напряжения и отрезки времени. Рассмотрим примеры технической реализации подобных преобразователей.

В качестве простейшего преобразователя углового перемещения в код (вал-цифра) при небольших скоростях вращения можно использовать систему с так называемым импульсным колесом, представленную схематически на рис. 38. На вал, угловые перемещения которого необходимо регистрировать в цифровой форме, насажено

зубчатое колесо, во впадины которого входит конец рычага, удерживаемого пружинами в нейтральном положении.

К рычагу подведено напряжение от источника питания *E*, а на другом конце рычага имеются контакты, которые могут замыкаться с неподвижным контактом *а* при вращении импульсного колеса по часовой стрелке либо с контактом *б* при вращении колеса против часовой стрелки. При этом подаются импульсы в реверсивный счетчик импульсов РСИ, который при поступлении импульсов со входа *А* работает на сложение, а при поступлении импульсов со входа *Б* — на вычитание. Таким образом, на счетчике фиксируется в цифровой форме результирующий поворот вала в некотором направлении от заданного начального положения.

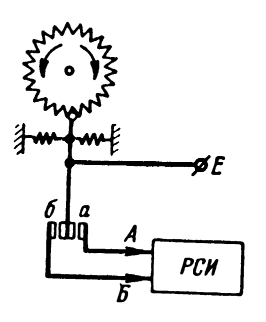


Рис. 38. Преобразователь вал-цифра с импульсным колесом.

При больших скоростях вращения зубчатый диск следует заменить коллектором со щетками, а при очень большой скорости — осуществлять оптический съем с помощью вращающегося непрозрачного диска с прорезями. Этот диск освещается лучом света, падающим сквозь прорези на фотоэлемент, который выдает импульсы на регистрирующее устройство.

В более совершенных преобразователях подобного типа применяются диски из оптического стекла с несколькими дорожками, на которых код наносится в виде сочетаний прозрачных и непрозрачных участков. При этом обеспечивается съем величины, закодированной в определенном желательном коде без счета импульсов, по текущему положению кодовых элементов на дорожках против линии считывания. Таким образом можно получить не только обычный двоичный код, но и специальные коды, обеспечивающие повышенную помехоустойчивость системы.

В качестве примера преобразователя интервала времени в код рассмотрим схему, изображенную на рис. 39. Преобразователи подобного типа находят особенно широкое применение в радиолокационных и навигационных системах.

Стабилизированный генератор импульсов *ГИ* вырабатывает последовательность импульсов, причем периодом их следования определяется выбранная единица отсчета времени. Эти импульсы поступают в счетчик импульсов *СИ* через ключ *К*, состояние которого («открыто» или «заперто») определяется состоянием триггера *Т*, управляемого импульсами начала и конца преобразуемого временнóго интервала. Точность такого преобразователя зависит от частоты и стабильности работы *ГИ*.

При преобразовании напряжения в код широкое распространение получил метод так называемого временнóго кодирования. По этому методу преобразование осуществляется в два этапа. На первом этапе происходит преобразование входного напряжения в пропорциональный ему временной интервал, а на втором — преобразование временнóго интервала в код.

Блок-схема одного из вариантов преобразователей напряжения в код с временны́м преобразованием приведена на рис. 40. Верхняя часть схемы, включающая генератор импульсов *ГИ*, ключ *К*,

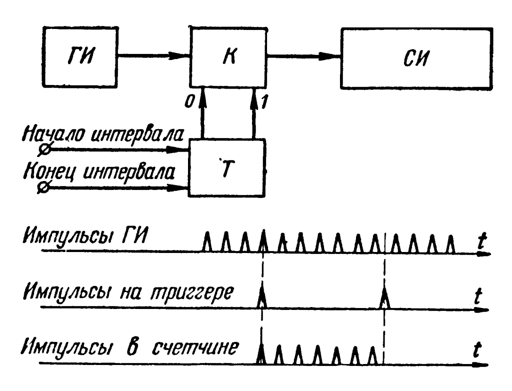


Рис. 39. Блок-схема преобразователя временно́го интервала в цифровой код.

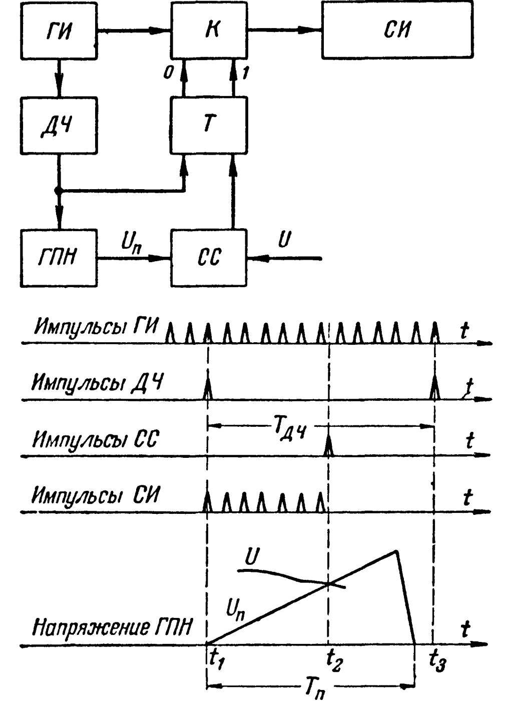


Рис. 40. Блок-схема преобразователя напряжения в код.

счетчик импульсов *СИ* и триггер *Т*, является повторением рассмотренной выше схемы на рис. 39.

Импульсы от *ГИ* поступают также на делитель частоты *ДЧ*, коэффициент деления которого определяется заданным шагом квантования по времени. Импульс от *ДЧ* используется, во-первых, для запуска генератора пилообразного напряжения *ГПН*, и, во-вторых, для управления триггером *Т*, который в свою очередь определяется состоянием ключа *К*.

Таким образом, в момент t_1 появления импульса от *ДЧ* ключ *К* открывается и начинается счет количества импульсов в *СИ*. В этот же момент начинается нарастание пилообразного напряжения $U_п$, подаваемого в схему сравнения *СС*, на другой вход которой поступает преобразуемое напряжение U. В момент t_2, когда $U_п$ достигает величины U, схема сравнения *СС* выдает импульс — опрокидывающий триггер *Т*, что приводит к запиранию ключа *К* и прекращению подачи импульсов от *ГИ* в *СИ*. Зафиксированное *СИ* число импульсов, очевидно, будет пропорционально промежутку времени $t_2—t_1$ и, соответственно, напряжению $U'_п=U$.

Показание *СИ* переписывается в соответствующий регистр или запоминающее устройство, после чего счетчик сбрасывается в нулевое состояние и под воздействием следующего импульса от *ДЧ* в момент t_3 начинается следующий цикл преобразования. Естественно, что период пилообразных колебаний $T_п$ должен выбираться в соответствии с заданным шагом квантования времени $T_{ДЧ}$ так, чтобы удовлетворялось условие $T_п \leqslant T_{ДЧ}$.

Устройства для преобразования напряжения в код находят применение и для кодирования человеческой речи при телефонной передаче по каналам связи, звукозаписи и т. п. При этом колебания, воспринимаемые микрофоном, подаются на анализатор, который представляет их в виде элементарных звуковых сочетаний. Затем соответствующие этим сочетаниям напряжения преобразуются в коды, которые и передаются по каналу связи. На приемном конце осуществляется обратное преобразование кодов в напряжения, из которых в синтезирующем устройстве воссоздается речевое сообщение. Применение таких систем позволяет в несколько десятков раз сжать необходимую для передачи телефонного разговора полосу частот и, следовательно, значительно повысить пропускную способность каналов связи.

Наиболее распространенным типом преобразователей цифра-аналог являются преобразователи кода в соответствующий ток или напряжение, причем полученные электрические величины в свою очередь могут отрабатываться в виде углового перемещения, скорости вращения и т. п.

В качестве примера преобразователя кода в напряжение рассмотрим схему, изображенную на рис. 41. Код числа, подлежащего преобразованию в аналоговую величину, фиксируется триггерами T_1, T_2, T_3... Триггеры управляют стабилизаторами тока CT_1, CT_2, CT_3..., которые рассчитаны на пропускание тока стандартной величины I. При этом пропускают ток только те стабилизаторы, которые соответствуют триггерам, находящимся в состоянии 1.

Рассмотрим пример, соответствующий схеме на рис. 41, когда на вход подано и зарегистрировано триггерами число 101. При этом работают стабилизаторы CT_1 и CT_3 и через образцовые со-

противления проходят следующие токи: через сопротивление R (справа) проходит ток $2I$, а через остальные сопротивления R и $2R$ — ток I. Таким образом, общее падение напряжения между выходным зажимом и заземлением (корпусом) составит:

$$U=2RI+RI+R2I=5RI,$$

т. е. будет пропорционально коэффициенту 5 — десятичному эквиваленту кода 101.

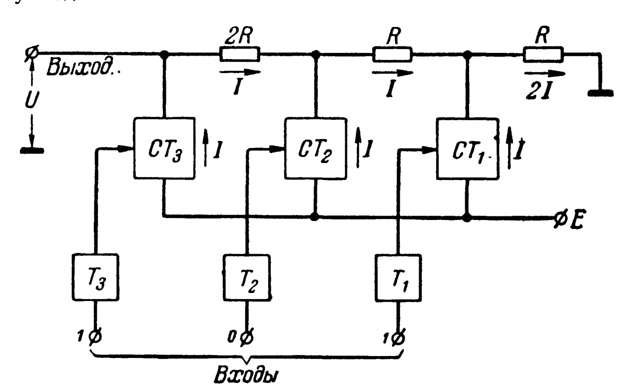


Рис. 41. Схема преобразователя кода в напряжение.

При увеличении числа разрядов преобразуемых чисел соответственно добавляются звенья преобразователя, включающие стабилизаторы и образцовые сопротивления $4R$, $8R$,...

Рассмотренные здесь преобразователи дают лишь общее представление о принципах и технике преобразования, которая превратилась в настоящее время в самостоятельную и важную отрасль кибернетической техники.

12. ТИПЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ МАШИН И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Познакомимся теперь с некоторыми конкретными типами электронных цифровых машин, спроектированных и построенных в нашей стране.

Наиболее широко известна созданная в начале пятидесятых годов в Институте точной механики и вычислительной техники Академии наук СССР под руководством академика С. А. Лебедева машина БЭСМ — быстродействующая электронная счетная машина. Эта большая универсальная машина содержит около 5 000 электронных ламп, размещается в зале площадью около 150 *м*², потребляет до 100 *квт* электроэнергии. Машина выполняет до 10 тысяч арифметических операций в секунду с числами, содержащими девять десятичных знаков. Следовательно, она может считать миллиарды с точностью до единицы или единицы с точностью до одной миллиардной,

БЭСМ — машина параллельного действия. Ее арифметическое устройство выполнено на электронных реле (триггерных ячейках). Оперативная память работала на электронно-лучевых трубках, которые в начале 1957 г. заменены магнитной памятью на ферритовых сердечниках. Внешняя память машины осуществлена в виде записи на магнитной ленте (120 тысяч чисел) и на магнитном барабане (около 5 тысяч чисел).

Ввод данных в машину осуществляется со скоростью около 20 чисел в секунду при помощи бумажной перфоленты с фотоэлектрическим считыванием. Вывод результатов вычислений производится с помощью фотопечатающего устройства на кинопленку со скоростью 200 чисел в секунду и со значительно меньшей скоростью — при помощи электромеханического печатающего устройства.

В дальнейшем машина была модернизирована и выпускалась серийно под названием БЭСМ-2. В этом варианте все вакуумные диоды заменены германиевыми, что уменьшило размеры машины и позволило значительно снизить расход энергии на ее питание.

Наряду с разработкой быстродействующих, но соответственно и более сложных и более дорогих машин, широкое распространение получили дешевые малогабаритные машины, доступные научно-исследовательским институтам, конструкторским бюро, крупным предприятиям. В 1956 г. были изготовлены первые экземпляры машины «Урал», предназначенной для серийного производства.

Эта машина содержит около 800 ламп, 3 000 германиевых диодов и потребляет мощность 8 *квт*. Для размещения машины нужна площадь около 40 *м*². Она работает со скоростью 100 операций в секунду, оперируя с числами, содержащими 35 двоичных разрядов. Основными элементами машины являются триггеры, инверторы, формирователи. Запоминающее устройство машины включает магнитный барабан с 1 024 ячейками и магнитную ленту емкостью до 40 000 ячеек. Для ввода данных в машину со скоростью 4 500 чисел в минуту применяется предварительно засвеченная перфорированная стандартная кинопленка, чтение с которой осуществляется с помощью германиевых фотодиодов. Печатание результатов вычислений производится на бумажной ленте со скоростью 100 чисел в минуту.

Машина «Урал» является самой распространенной из советских вычислительных машин. Однако, являясь относительно медленно действующей машиной, она в настоящее время с производства снята. В 1958—1959 гг. создан модернизированный вариант машины «Урал-2», в котором применено оперативное *ЗУ* на ферритовых сердечниках, что позволило повысить скорость работы со 100 до 5 000 операций в секунду. Позднее разработана и запущена в производство машина «Урал-4».

На Украине разработана машина «Киев», обеспечивающая выполнение 10 000—13 000 операций в секунду.

Интересна машина «Сетунь», разработанная в Московском государственном университете и выпускаемая в настоящее время серийно. Это первая машина, работающая в троичной системе счисления, обладающей, по мнению авторов разработки, рядом

преимуществ с точки зрения экономичности конструкции устройств машины и простоты выполнения арифметических операций. Кроме того, машина весьма надежна, так как она построена полностью на магнитных элементах.

Серийно выпускается также построенная на полупроводниковых элементах машина «Минск-2», работающая со скоростью 5—6 тысяч операций в секунду, имеющая емкость оперативной памяти 4 096 чисел и потребляющая около 4 *квт*.

Также на полупроводниковых и ферритовых элементах построена машина «Раздан-2». Она работает со скоростью 5 тысяч операций в секунду, имеет емкость оперативного *ЗУ* 2 048 чисел и потребляет мощность около 3 *квт*.

Проектируется и строится ряд специализированных машин для управления производственными процессами, экономико-статистических расчетов, автоматизации формирования и вождения поездов и для других целей.

При создании новых машин конструкторы стремятся к уменьшению их габаритов, веса и снижению расходов на питание за счет внедрения новых полупроводниковых диодов и транзисторов, применения логических схем на ферритовых сердечниках, к увеличению объема памяти при одновременном уменьшении размеров запоминающих устройств. Широкие перспективы в области создания запоминающих устройств большой емкости и высокого быстродействия открываются в связи с возможностями использования для этой цели магнитных пленок, туннельных диодов, сверхпроводниковых (криогенных) приборов и т. п.

Скорости работы серийных машин в ближайшее время достигнут сотен тысяч операций в секунду. Кроме того, уже сейчас существуют уникальные машины, описанные в английской и американской печати, скорость работы которых достигает миллионов операций в секунду (Атлас, СТРЕТЧ). В ближайшие годы можно ожидать создания образцов машин, которые смогут выполнять десятки миллионов операций в секунду.

В технике цифрового электронного машиностроения все большее применение находят современные достижения техники печатного монтажа, микроминиатюризации, пленочной электроники, схем на твердом теле.

После появления первых электронных цифровых машин прошло немногим более пятнадцати лет. За такой короткий срок достигнуты огромные успехи в их конструировании и производстве. Имеются полные основания ожидать в течение ближайших лет новых поразительных достижений в стремительно развивающейся технике электронного машиностроения.

13. ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ РАБОТЫ МАШИН

Решение подавляющего большинства математических задач сводится к выполнению простых арифметических действий. Для отыскания, например, корней квадратного уравнения $x^2+bx+c=0$

при известных значениях b и c мы, пользуясь формулой $x = -\frac{b}{2} \pm \sqrt{\frac{b^2}{4} - c}$ подставляем численные значения коэффициентов b и c и затем производим ряд таких операций, как деление, сложение, вычитание, возведение в степень, извлечение корня и т. д. Можно показать, что все эти операции в свою очередь можно выполнять как сложение и вычитание. Так, например, чтобы умножить число 50 на 10, достаточно взять число 50 слагаемым 10 раз. Следовательно, умножение сводится к многократному сложению. Разделить число 20 на 5 можно путем ряда последовательных вычитаний делителя на делимого: 1) 20—5=15; 2) 15—5=10; 3) 10—5=5; 4) 5—5=0. После получения нуля нужно подсчитать, сколько раз производилось вычитание (в нашем случае 4 раза), и это число является частным, т. е. результатом деления. Возведение в степень есть умножение числа самого на себя, а умножение, как мы уже показали, сводится к сложению и т. д.

Более того, само вычитание можно свести к сложению при соответствующем преобразовании кодов чисел. Это особенно удобно делается в двоичной системе счисления, что позволяет использовать в арифметическом устройстве вычислительных машин в качестве универсального прибора рассмотренный нами ранее сумматор.

Возможность сведе́ния достаточно сложной задачи к определенному конечному числу шагов простых арифметических действий позволяет решать эту задачу любому человеку, не вникая в сущность задачи, даже не понимая ее, если только другой человек, математик, составит подробную инструкцию — описание способа решения этой задачи. Например, мы можем, совершенно не зная, что такое степень, правильно найти результат $5^3 = 125$, если будем знать, что следует умножить 5 на 5 и еще раз умножить на 5. Такая система формальных правил, позволяющая чисто автоматически, не вникая в суть дела, правильно решать все задачи некоторого определенного типа, называется алгоритмом решения этих задач. Значит, составляя алгоритм данной задачи, мы делаем доступным человеку чисто механическое решение этой задачи, а если мы сумеем заставить в соответствии с составленным алгоритмом работать машину, то и машина также правильно решит эту задачу. Процесс решения задачи по алгоритму сводится к выполнению конечной цепочки элементарных арифметических и логических операций.

Описание последовательности этих операций вводится в машину в виде так называемой программы, состоящей из серии последовательно выполняемых команд. Каждая команда служит для выполнения какой-нибудь одной арифметической или логической операции. Для примера рассмотрим систему трехадресных команд, содержание которых имеет вид табл. 3.

Таблица 3

Осуществить операцию с номером	Над числами, взятыми из ячеек памяти с адресами		Результат отправить в ячейку с адресом
	I	II	III
01	21	27	34

Все операции (сложение, вычитание, умножение и т. д.) в машинах также кодируются определенными числами. Пусть в нашей машине приняты следующие коды операций: сложение 01, вычитание 02, умножение 03, печатание результата 07 и т. д. Тогда команда табл. 3 расшифровывается следующим образом: сложить числа, записанные в 21-й и 27-й ячейках памяти, и результат сложения записать в 34-й ячейке памяти.

Приведем пример программирования какой-либо несложной задачи. Пусть, например, нужно вычислить выражение

$$(A+B)(C-D).$$

Пусть исходные данные для вычисления, т. е. значения A, B, C и D, помещены соответственно в 22-й, 29-й, 36-й и 40-й ячейках памяти

Программа решения задачи будет иметь вид, представленный в табл. 4.

В результате выполнения первой команды (первой строки таблицы) в 31-ю ячейку памяти будет помещена сумма $A+B$. После второй команды в 34-ю ячейку памяти попадет разность $C-D$. После третьей команды в 50-й ячейке памяти окажется результат $(A+B)$ $(C-D)$, который будет отпечатан после выполнения четвертой команды.

Таблица 4

Код операции	Адреса ячеек памяти		
	I	II	III
01	22	29	31
02	36	40	34
03	31	34	50
07	50	—	—

Программа решения достаточно сложной задачи может состоять из очень большого количества команд. Учитывая, однако, возможность выполнения машиной десятков тысяч операций в секунду, оказывается, что машина может даже сложные задачи решать в очень короткие промежутки времени.

Важными особенностями программирования электронных вычислительных машин являются возможности циклического повторения отдельных участков программы с новыми исходными данными, наличие команд условного перехода, при которых машина в зависимости от полученных результатов либо возвращается к повторению вычислений, либо переходит к выполнению следующей команды, либо останавливается и т. д. Все эти особые приемы программирования позволяют при сравнительно короткой программе выполнять большой объем вычислений, автоматически изменять ход вычислительного процесса в зависимости от полученных промежуточных результатов вычислений и самой машине вырабатывать себе программу дальнейшей работы, основываясь на общих исходных принципах программирования.

Составление программ является весьма трудоемким процессом, и в настоящее время математиками решена задача автоматического программирования, т. е. составления программ работы вычислительных машин на самих же вычислительных машинах.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

14. УПРАВЛЯЮЩИЕ МАШИНЫ

Электронные вычислительные машины, как показывает само название, предназначаются для производства вычислений, т. е. для операций с числами. Однако в настоящее время они получают все более широкое применение для решения неарифметических задач, в частности для автоматического управления производственными процессами, военной техникой, движением транспорта. Возможность выполнения машинами управляющих функций определяется возможностью описания тех или иных процессов математическими уравнениями, решение которых и может осуществляться кибернетической машиной.

Рассмотрим, например, функции, выполняемые машинистом электровоза, ведущего поезд. Машинист знает расписание движения, профиль пути, вес поезда, технические возможности электровоза. Он наблюдает за состоянием пути, за сигналами автоблокировки, учитывает атмосферные условия, фактическое выполнение расписания, т. е. идет ли поезд с опережением или запаздывает. В соответствии с этой разнообразной информацией, перерабатывая ее, машинист решает задачу наиболее целесообразного управления электровозом. Эту задачу он решает приблизительно, пользуясь своими техническими знаниями, производственным опытом, интуицией. Однако при приблизительном решении задачи управления последнее осуществляется часто далеко не наилучшим способом. В самом деле, на одном и том же участке при одинаковых условиях хороший машинист может сэкономить электроэнергию, а менее опытный — перерасходовать. Но даже и хороший машинист не всегда принимает наилучшие решения, так как у него зачастую отсутствует время для обдумывания этого решения, а, кроме того, и опыт, и интуиция еще не дают гарантии того, что принятое решение действительно является наилучшим.

Между тем задача выбора наилучшего режима управления электровозом может быть математически решена совершенно точно. Если воспользоваться уравнением движения поезда и подставить в него в качестве коэффициентов соответствующие данные (вес поезда, профиль пути, скорость и др.), то, решая это уравнение, можно получить точный ответ о том, когда нужно ускорить или замедлить движение, с какой силой осуществлять торможение и т. д.

Однако машинист, даже если бы он и обладал соответствующей математической подготовкой, не может заниматься этими расчетами из-за недостатка времени. Дело в том, что из соображений безопасности движения машинист должен быстро реагировать на изменение внешних условий, даже если эта быстрота идет до некоторой степени в ущерб точности выбора наилучшего режима управления электровозом.

Применение электронной управляющей машины — автомашиниста, сочетающей возможность точного решения управления движения поезда с огромным быстродействием, обеспечивающим получение этих точных решений за время, исчисляемое секундами, позволяет ей управлять движением поезда лучше, чем это делает машинист, снижать таким образом расход электроэнергии и повышать безопасность движения.

Аналогичные принципы могут быть положены в основу автоматизации любого производственного или транспортного процесса. Для осуществления этой задачи необходимо прежде всего наличие достаточно точного математического описания процесса, подлежащего автоматизации. Такое математическое описание должно быть осуществлено, очевидно, инженерами соответствующей специальности, детально знакомыми с характером и особенностями протекания данного процесса.

Так, если необходимо автоматизировать процесс управления локомотивом, то математическое описание этой задачи должно быть подготовлено инженером — специалистом по так называемым тяговым расчетам. Для автоматизации управления химическим производством уравнения, которые устанавливают количественные соотношения, характеризующие это производство, должны быть записаны химиком-технологом и т. д.

После того как составлена соответствующая система уравнений, описывающих данный процесс, может быть разработана программа для электронной управляющей машины, обеспечивающая решение этих уравнений и осуществление необходимых управляющих воздействий.

Важно подчеркнуть при этом, что решение кибернетическими средствами задачи автоматического управления любым производственным процессом может дать существенный экономический и технологический эффект только в том случае, если этот процесс осуществляется на высокопроизводительном механизированном оборудовании и тщательно и рационально организован. На слабо механизированном предприятии с малопроизводительными агрегатами применение кибернетической техники, как правило, не дает надлежащего эффекта и оказывается экономически нецелесообразным. Перед тем как внедрять кибернетические методы управления производственными процессами, необходимо прежде всего осуществить значительную технологическую и организационную перестройку самих процессов.

При соблюдении указанных условий наиболее полно реализуются все преимущества применения кибернетических управляющих устройств — высокая точность управления, быстрота реакции, обеспечивающая высокую производительность, экономическая эффективность. Исключительно важна также возможность замены функций человека как управляющего звена кибернетическими машинами в таких местах, где нахождение человека недопустимо или нежелательно (в условиях сильных радиоактивных излучений, на вредных химических производствах, при дальних космических полетах и т. п.).

Во всех случаях применения кибернетических машин для управления разнообразными процессами используются общие принципы автоматического программного управления, иллюстрируемые рис. 8 и описанные в § 3. Рассмотрим более подробно некоторые конкрет-

ные случаи применения электронных машин для целей управления различными процессами.

Управление металлообрабатывающими станками. Одним из видов автоматизации управления станками без применения электронных машин является система автоматической обработки изделий по копиру. Копир представляет собой деталь, управляющую относительным движением заготовки и обрабатывающего инструмента при обработке на так называемых копировальных, чаще всего копировально-фрезерных станках. По копиру движется ощупывающий его профиль ролик или штифт, управляющие в свою очередь движением инструмента и заготовки. Изготовление хорошего копира требует высокой точности и является довольно трудоемкой операцией.

Применение электронной цифровой машины позволяет заменить копировальное устройство таким устройством, в котором профиль обрабатываемого изделия задан системой чисел, записанной в кодированном виде на перфорированной бумажной ленте, фотопленке или магнитной ленте. В таком виде информация о требуемой форме изготовляемого изделия поступает в электронное цифровое устройство, выполняющее соответствующие вычисления и вырабатывающее команды для управления станком. Эти команды в виде импульсов напряжения или в преобразованном в непрерывные значения напряжения виде поступают в три исполнительных органа системы, обеспечивающих, скажем, перемещение фрезы на нужные величины вдоль трех осей координат.

В принципе при автоматизации станков вычислительную машину можно ставить вне цеха, причем она может управлять одновременно работой нескольких станков.

Применение электронных цифровых управляющих машин повышает производительность труда и снижает себестоимость продукции благодаря сокращению времени наладки станков, уменьшению затрат квалифицированного труда и увеличению производительности оборудования.

Полная автоматизация предприятий с непрерывными производственными процессами. Развитие электронной цифровой техники позволяет подойти к решению вопроса полной автоматизации сложных производственных объектов: конвейеров, цехов, целых заводов. Эта задача легче всего может быть осуществлена на предприятиях с непрерывными (а не штучными или прерывистыми) производственными процессами, например на различных химических и нефтеперерабатывающих предприятиях.

Возможный при этом принцип автоматического управления иллюстрируется схемой на рис. 42. Пусть сырье в процессе переработки проходит ряд этапов технологического процесса $Э_1$, $Э_2$, $Э_3$ и т. д. Управление каждым этапом осуществляется одним из местных регуляторов *3*, *4*, *5*, представляющим собой электронную цифровую машину, которой задана программа регулировки данного этапа процесса. Местные регуляторы имеют по два канала связи (прямой и обратный) как с агрегатами, осуществляющими этапы технологического процесса, так и с центральной электронной вычислительной машиной. Последняя получает от местных регуляторов информацию о ходе процесса по этапам и от анализаторов *2* и *6* — данные результатов анализа исходного сырья и готового продукта. Сравнивая результаты анализа готового продукта с техническими требованиями, предъявляемыми к нему, и перерабатывая всю осталь-

ную поступающую информацию, центральная электронная вычислительная машина, как бы выполняющая роль «диспетчера» предприятия, вносит необходимые коррективы в программы работы местных регуляторов. Это приводит к таким изменениям течения этапов технологического процесса, которые обеспечивают получение продукта необходимого качества.

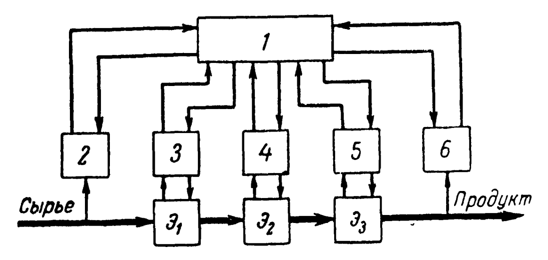


Рис. 42. Блок-схема автоматического управления предприятием с непрерывным технологическим процессом.

1 — центральная электронная вычислительная машина; *2* — анализатор сырья; *3, 4, 5* — местные регуляторы этапов процесса; *6* — анализатор готового продукта; $Э_1$, $Э_2$, $Э_3$ — этапы технологического процесса.

В качестве центральной электронной машины целесообразно применять машину, которая в процессе управления может находить наилучшие режимы работы предприятия. Для этого в ее памяти должны содержаться определенные оценки хода управления по той или иной программе и должна предусматриваться возможность автоматического перехода к другой, более выгодной программе работы.

Уже сейчас существуют полностью автоматизированные хлебозаводы, на которых кибернетическая техника позволяет по заданным рецептам автоматически составлять из нужных составляющих и в требуемых пропорциях тесто, управлять его выпечкой и выпускать разнообразные готовые изделия. На таких заводах существует автоматическая система, обрабатывающая статистические данные о весе выпускаемых изделий и автоматически корректирующая дозировку теста. Это позволило значительно уменьшить перерасход теста и в то же время уменьшить отклонение веса изделий от нормы.

В направлении полной автоматизации предприятий пока сделаны лишь первые шаги. Однако можно с уверенностью сказать, что в будущем применение для этой цели электронных машин позволит значительно повысить точность и оперативность управления, а следовательно, и улучшить основные технические и экономические показатели производства.

Управление электростанциями и энергосистемами. Весьма большое будущее принадлежит машинам-«диспетчерам» на автоматизированных электростанциях, в энергосистемах и в будущей единой высоковольтной сети Советского Союза, а также единой сети со-

циалистических стран, объединяемых Советом экономической взаимопомощи.

Для контроля всех этапов работы современных электростанций, особенно тепловых станций, приходится применять огромное количество датчиков, сигнализирующих о ходе протекания тех или иных процессов (разгрузка и подготовка топлива, подача его в котлы, работа паровых котлов, турбогенераторов, трансформаторов, системы распределения энергии и др). Количество датчиков на электростанции достигает нескольких сотен, причем провода от них заводятся в специальные приборные шкафы и на щиты, предназначенные для наблюдения и регулировки процессов выработки электроэнергии дежурным персоналом.

Значительного сокращения количества дежурного персонала, а в принципе и полной автоматизации управления работой электростанции можно добиться путем использования для этой цели кибернетической машины. При этом выходы от всех датчиков заводятся в машину, которая сравнивает их показания с заданными значениями соответствующих параметров и в случае отклонения этих параметров от нормы обеспечивает выдачу корректирующих воздействий на органы управления. Если регулирование может осуществляться по нескольким вариантам, то машина в процессе управления рассчитывает и выбирает оптимальный вариант.

Исключительно велика роль кибернетической техники на диспетчерских пунктах больших объединенных энергосистем. В зависимости от потребления энергии в отдельных участках системы кибернетический «диспетчер» решает задачу оптимального распределения источников энергии и нагрузок и обеспечивает автоматическое включение и остановку агрегатов на электростанциях, переключение трансформаторных подстанций, высоковольтных линий и т. п.

Применение кибернетической техники на транспорте. В начале настоящего параграфа была рассмотрена идея устройства для автоматического вождения локомотива. Эта идея положена в основу разработанной и построенной в Советском Союзе машины, получившей название «автомашиниста». Она изготовлена полностью на магнитных логических элементах и полупроводниковых вентилях и не содержит ни одной лампы, если не считать кенотронов в источниках питания. Первый образец автомашиниста предназначался для автоматического вождения электросекций пригородных поездов. В дальнейшем разработаны машины для автоматизации управления электровозами и тепловозами, а также поездами метрополитена.

Другой макет вычислительной машины, также собранный на магнитных элементах, предназначен для автоматизации процесса формирования поездов на так называемых сортировочных горках крупных железнодорожных станций. Состав, подлежащий сортировке, надвигается вагонами вперед на горку, где производится расцепка. Перевалив через вершину горки, вагоны под действием силы тяжести катятся вниз по наклонной части горки, причем в зависимости от того, куда следует груз, вагон при помощи стрелок направляется на один из путей так называемого подгорочного парка, где формируются поезда в различные направления.

Для того чтобы вагон не ударялся сильно об уже стоящие на подгорочных путях вагоны, его нужно затормозить. Торможение на немеханизированных горках осуществляется подкладыванием

под колеса специальных тормозных башмаков, а на механизированных горках — вагонными замедлителями, представляющими собой тормозные шины, расположенные по обе стороны рельсов, зажимающие бандажи колес. Управление вагонными замедлителями производится оператором с поста управления. Однако, так как различные вагоны (груженые и порожние, с хорошими или плохими подшипниками) развивают различную скорость и обладают разной энергией, а также учитывая, что в зависимости от заполнения подгорочных путей они должны пробежать различное расстояние, торможение их должно осуществляться с различной интенсивностью, определяемой оператором на глаз, неточно. Поэтому одни вагоны останавливаются раньше, чем следует, и их потом приходится подкатывать вручную или трактором, другие же ударяются об уже остановившиеся вагоны, что приводит к их повреждениям.

Заменой оператора электронной машиной можно добиться резкого улучшения работы сортировочной горки. Специальное радиолокационное устройство, использующее так называемый эффект Допплера, непрерывно измеряет скорость скатывающегося с горки вагона и таким образом определяет его ходовые свойства, обусловленные весом и качеством подшипников. Другое электрическое устройство определяет расстояние до ближайших стоящих на подгорочных путях вагонов. Вся эта информация поступает в электронную вычислительную машину, которая решает динамическую задачу, с какой скоростью вагон должен выйти из замедлителя, чтобы он остановился в заданном месте, и соответственно управляет торможением в замедлителях.

С применением электронных вычислительных машин могут быть созданы системы автоматического управления движением поездов на целых диспетчерских участках, устройства для автоматической продажи билетов на дальние расстояния, в том числе и с пересадками, с автоматическим гашением занятых мест и др.

За рубежом разработана модель автострады с автоматическим управлением движения по ней автомашин без шоферов, причем предусматривается автоматический обгон медленно идущих машин, автоматический въезд и выезд их на автостраду.

Существуют на автострадах автоматические радиолокационные измерители скорости проходящих машин, которые в случае превышения разрешенной скорости автоматически включают фотокамеру, фиксирующую на пленку номер машины. Таким образом, в конце дежурства регулировщику остается по автоматически же проявленной пленке только выписать и разослать нарушителям штрафные квитанции.

Большие перспективы имеет использование кибернетических машин для регулирования уличного движения. По сообщениям зарубежной печати на 120 перекрестках наиболее оживленной части Нью-Йорка работает автомат, регулирующий уличное движение значительно лучше и точнее, чем это делали полисмены-регулировщики. В него вводится информация о количестве скапливающихся в каждом направлении машин, поступающая от специальных счетчиков с фотоэлементами или подвесных радиолокаторов, о времени ожидания первого автомобиля, наконец, о загрузке соседних перекрестков. Применение этой системы позволило сократить 360 полисменов и уменьшить на полчаса время разъезда в часы «пик».

В течение нескольких лет находится в опытной эксплуатации и кибернетический светофор в Ленинграде, разработанный сотрудниками Ленинградского электротехнического института связи им. М. А. Бонч-Бруевича совместно с лабораторией ОРУД Ленинградской милиции.

Этот светофор-автомат регистрирует накопление машин, подъезжающих с разных направлений, и решает задачу, в какие моменты и на какое время наиболее выгодно зажечь зеленый свет в данном направлении. Он пропускает вне очереди пожарные машины и машины скорой помощи, снабженные специальными отличительными радиосигнальными устройствами. В случае, когда транспорт долго движется только в одном направлении, кибернетический регулировщик перекрывает это движение для пропуска пешеходов.

Уже в настоящее время применяются, а в дальнейшем все более широко будут внедряться кибернетические устройства, предназначенные для автоматического вождения по заданной программе кораблей и автоматического пилотирования самолетов.

Кибернетическая техника в военном деле. Возможность создания самоуправляемых, действующих без участия человека, устройств, естественно, привлекает большое внимание специалистов, работающих в области военной техники. Сама кибернетика зародилась в годы второй мировой войны и была сразу же использована для решения ряда задач военного характера. За истекший после войны период техника электронных машин сделала огромные успехи. Трудно перечислить все возможные применения их, поэтому мы укажем на основании зарубежных источников лишь некоторые области военного дела, где уже сейчас используются или проектируются системы, включающие электронную вычислительную технику.

Прежде всего машины широко применяются для производства весьма трудоемких аэродинамических, баллистических (т. е. связанных с определением траектории полета снарядов и ракет) и других расчетов. Огромное быстродействие машины позволяет рассчитать точную траекторию снаряда за время, меньшее, чем время самого полета снаряда.

Одним из наиболее распространенных применений кибернетических устройств в военном деле являются системы автоматического управления огнем зенитной артиллерии, объединяющие радиолокационную станцию, обнаруживающую самолет на расстоянии, и электронное вычислительное устройство, которое по данным, поступающим от радиолокатора, вычисляет дальнейший путь самолета и вырабатывает команды для устройства, которое наводит орудие и управляет автоматической стрельбой.

Особая роль принадлежит кибернетической технике в системах дальнего обнаружения и перехвата сверхскоростных самолетов-бомбардировщиков и баллистических ракет. В американской печати сообщалось о разработанной в США единой полуавтоматической системе противовоздушной обороны. В этой системе информация от большого количества радиолокаторов дальнего обнаружения поступает в центральную вычислительную машину, в памяти которой имеются данные о наличии средств противовоздушной обороны и истребительной авиации. Машина решает тактическую задачу наилучшего распределения этих средств и через «подчиненные» ей вычислительные устройства управляет автоматическим открытием

огня зенитной артиллерии, катапультированием самолетов-истребителей, запуском управляемых снарядов.

Большие перспективы имеет создание на базе кибернетических машин систем автоматического управления полетом самолетов. Так, например, еще в 1952—1953 гг. в США была испытана в десятках вылетов система «Диджитак», предназначенная для автоматического управления полетом бомбардировщика и бомбометанием. Система позволяет средствами радионавигации определять местоположение самолета, вычислить курс самолета к заданной цели и автоматически обеспечивать этот курс, по координатам цели, высоте и скорости полета и метеорологическим данным определить точку, где самолет должен сбросить бомбы, и автоматически управлять самим бомбометанием. Электронная машина системы содержала 260 ламп и 1 300 германиевых диодов. Потребляемая мощность, включая расход энергии на охлаждении, составляла 1,3 *квт*. Объем всей системы «Диджитак», включая электронную машину, источники питания, приемное и измерительное устройства, охлаждение и переходное устройство для связи с автопилотом самолета, составлял около 0,3 $м^3$ при весе порядка 100 *кг*. В настоящее время существуют значительно более экономичные, легкие и малогабаритные системы автоматического управления самолетами.

В связи с быстрым ростом интенсивности воздушного движения и увеличением количества самолетов, находящихся одновременно в воздухе в районе как военно-воздушных баз, так и гражданских аэродромов, исключительное значение приобретает автоматизация диспетчерского управления воздушным движением. Для этой цели создаются специальные центры управления.

По сообщениям американской печати, подобные центры оснащаются четырьмя специально разработанными для этой цели электронными машинами. Одна из них предназначается для обработки данных о следовании самолетов по курсу, вторая будет следить за движением самолета в районе аэродрома, третья — резервная и четвертая служит в качестве промежуточного звена для связи центра с системой противовоздушной обороны.

Существуют кибернетические системы, предназначенные для автоматического управления торпедными катерами.

Очень важную роль могут сыграть кибернетические машины при решении оперативно-тактических задач: сборе и обработке разведывательных данных, шифровании и передаче информации о противнике и о своих войсках в штабы вышестоящих подразделений, нанесении обстановки на карту, подготовке расчетных данных для принятия решения командиров и выработке вариантов этих решений и др.

Значительную пользу могут принести электронные цифровые машины в службе тыла и автоматизации управления снабжением армии. Применение их позволяет существенно сократить время на оформление и реализацию заявок, сделать более оперативными процессы учета имущества, его хранения, транспортировки и т. п. Машины могут обеспечить и разработку планов материально-технического снабжения войск, и автоматический контроль реализации этих планов.

Наконец, важную роль кибернетические машины могут сыграть в улучшении боевой подготовки военных специалистов в качестве

автоматических тренажеров. Широкое распространение получили тренажеры для подготовки летчиков, космонавтов, шоферов, танкистов и других специалистов.

15. ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Помимо решения задач вычислительного характера и применения в управляющих устройствах, кибернетические машины могут быть использованы для механизации ряда других видов умственной работы, поддающихся формализации, т. е. таких, которые могут быть осуществлены в соответствии с четкими, заранее установленными правилами. Примерами подобных видов умственного труда являются учет, статистика, некоторые задачи планирования, перевод с одного языка на другой научных текстов и т. п.

Не формальными видами умственного труда являются задачи творческого характера, например изобретательство, разработка новых научных теорий, литературное и музыкальное творчество и другие задачи, в которых, хотя и существует некоторые общепринятые правила и нормы, главенствующую роль играют талант, вдохновение и интуиция человека-творца. Решение творческих задач недоступно машинам, во всяком случае в их современном виде.

Машины, предназначенные для механизации некоторых процессов умственного труда человека, заключающихся в восприятии, хранении и обработке информации по определенной логической программе, называют информационно-логическими машинами. Они могут использоваться для автоматического перевода текстов с одного языка на другой, для автоматической обработки результатов научных исследований и инженерных разработок, для автоматизации процессов поиска информации (выдачи справок), для диагностики заболеваний, для обработки различных статистических данных и выполнения планово-экономических расчетов, для обучения и ряда других целей. Рассмотрим некоторые наиболее интересные и перспективные типы и применение подобных машин.

Автоматический перевод. Первая публичная демонстрация машинного перевода состоялась на электронной машине ИБМ-701 в Нью-Йорке в январе 1954 г. В запоминающее устройство машины были введены русско-английский словарь из 250 слов и программа, которая содержала около 2 400 команд. Для перевода был подобран простой текст, состоящий из «известных» машине слов.

В 1955 г. на машине БЭСМ были осуществлены опыты по переводу с английского языка на русский. Для этого в память машины был введен словарь из 952 английских и 1 073 русских слов. Среди английских слов 121 имело два различных значения, что указывалось в словаре при помощи специального кода. Об успешности этих опытов можно судить по следующей выдержке из статьи, напечатанной в одном из французских журналов за 1956 г.

«Прошлым летом, во время своего пребывания в России, члены американской делегации были приглашены на демонстрацию работы электронной машины, созданной советскими учеными. Опыт перевода с английского языка на русский показал, что русская машина оперирует со словарем свыше 1 000 слов и «составляет» фразы с гораздо большей точностью, чем американская машина.

Известный Массачусетский технологический институт недавно организовал комитет, состоящий из пяти математиков и филологов, для того чтобы отыскать секрет русской электронной машины»

На самом деле никаких особенных «секретов» у советской машины не было. Как сказано выше, опыты производились на универсальной машине БЭСМ, не предназначенной специально для перевода. Серьезных успехов при этом удалось добиться благодаря большой работе, проделанной советскими математиками и языковедами, разработавшими совершенные методы программирования перевода.

Попытаемся сжато изложить простейшие принципы работы машины при автоматическом переводе. Процесс работы переводчика, скажем, при переводе с английского языка на русский, заключается в нахождении по памяти или в словаре достаточно точных русских эквивалентов английских слов, в разборе или анализе английского текста, и, наконец, в правильном построении (синтезе) русского текста. Наиболее простой задачей является нахождение русских слов, соответствующих английским. Пусть мы хотим перевести на русский язык английское слово *book* (книга). Для ввода английского текста в машину его нужно определенным образом закодировать, т. е. заменить числами, так как машина может оперировать только с числами. Обозначим букву *b* латинского алфавита через 06, букву *o* через 28 и букву *k* через 19. Тогда английскому слову *book* будет соответствовать число 06282819. Для ввода английского текста в машину применяется аппарат с клавиатурой пишущей машинки с латинским шрифтом. При ударе по клавише этот аппарат пробивает на бумажной ленте или перфорированной карте отверстия, соответствующие коду данной буквы. Затем лента подается на входное устройство, откуда числа, соответствующие английским словам, в виде электрических импульсов попадают в машину.

В запоминающем устройстве машины хранится помещенный туда заранее словарь, в котором каждое английское и русское слово также заменены числом. Поиск нужного слова *book* заключается в сравнении методом вычитания выражающего его числа 06282819 со всеми числами словаря. При этом получится разность, равная нулю, лишь тогда, когда искомое слово будет обнаружено. Учитывая, что машина может сделать, скажем, 10 000 вычитаний в секунду, приходим к выводу, что если даже искомое слово стоит в конце словаря, то при объеме словаря в тысячу слов для нахождения слова понадобится 0,1 *сек.*

Однако таким образом можно перевести только однозначные слова, стоящие в начальной форме, и заменить все английские слова русскими в том же порядке, в каком они были расположены в английском тексте. Для грамотного же перевода реальных текстов требуется выбрать одно из многих возможных значений многозначного слова путем анализа окружающих его слов, проанализировать английский текст с точки зрения английской грамматики и грамотно построить русский перевод в соответствии с русской грамматикой. Все это требует чрезвычайно большой подготовительной работы по составлению достаточно совершенной программы работы машины. Программа должна быть введена в машину наряду со словарем заранее, причем большое количество правил и исключений из них требует весьма большой емкости запоминающих

устройств, во много раз превышающей емкость, необходимую для хранения словаря.

В настоящее время работа по дальнейшему совершенствованию методов машинного перевода проводится большим количеством научных коллективов как в Советском Союзе, так и за рубежом. Результаты этой работы позволят в будущем перейти от опытов к практическому применению автоматических переводных машин. В первую очередь эта задача будет решена для перевода научных текстов, в которых, во-первых, количество слов ограничивается, как правило, несколькими тысячами и, во-вторых, построение предложений значительно точнее следует существующим правилам грамматики.

Перевод художественной литературы затрудняется не только значительно более богатым словарем, но и тем, что в художественном произведении применяется значительно больше всевозможных идиоматических выражений. Однако главная трудность перевода художественных текстов состоит в том, что иногда даже формально правильный перевод оказывается весьма далеким по смыслу и по духу от оригинала, потому что переводчик художественного произведения должен не только хорошо знать язык, но должен знать и жизнь, быт, культуру и обычаи народа, с языка которого происходит перевод. А такого требования мы, конечно, машине предъявить не можем.

Хотя опыты перевода осуществлялись на обычных универсальных машинах, в дальнейшем для перевода будут создаваться специализированные машины со значительно более емкими запоминающими устройствами, специальными наборами команд, с быстроработающими устройствами ввода и вывода.

Принципиально разрешены, но требуют еще большой практической разработки интереснейшие задачи непосредственного ввода в машину печатного текста (книги, газеты, журнала), с тем чтобы во входном устройстве происходило автоматическое кодирование букв числами. Еще более сложной является задача непосредственного кодирования звуков человеческой речи. Все это задачи, которые будут решаться совместными усилиями математиков, языковедов, инженеров и физиков.

Справочно-библиографические машины. Непрерывно возрастающие потоки научной информации в виде книг, статей, отчетов, докладов и патентов все более затрудняют их использование в связи с трудностями поиска и ознакомления с соответствующими материалами. Если научный работник в прошлые века мог знакомиться практически со всей немногочисленной литературой по интересующему вопросу и это отнимало у него лишь незначительную часть рабочего времени, то в настоящее время публикуется такое обилие литературы по всем вопросам науки и техники, что ознакомление со всей этой литературой даже в какой-либо узкой области знания становится для человека непосильным и в том случае, если он будет отдавать этому все свое рабочее время.

Возникает парадоксальная ситуация, когда само обилие научных материалов по различным отраслям знаний становится препятствием к полноценному и глубокому освоению этих отраслей. В то же время стоимость «напрасно затраченных усилий» в научно-исследовательской работе, по утверждениям некоторых авторов, составляет в настоящее время более половины полной стоимости этих ра-

бот, так как зачастую в каждом конкретном случае поставленную задачу можно было бы решить более эффективными методами или даже получить уже готовые решения, если бы заблаговременно можно было просмотреть всю имеющуюся по этому вопросу литературу.

В связи с тем, что рост числа научных публикаций по статистическим данным происходит не в арифметической и даже не в геометрической прогрессии, а по степенно́му закону, то происходит дальнейшее быстрое «ухудшение» возможностей доступа к этим все возрастающим массивам информации.

Единственным, по-видимому, радикальным средством перспективного разрешения этого вопроса является создание информационных машин, способных к накоплению и систематизации больших количеств информации и выдаче справок при поступлении извне в машину определенным образом закодированного вопроса. Работу подобной информационной машины будущего можно образно представить следующим образом.

В устройстве памяти машины записываются в определенной последовательности систематизированные сведения по тем или иным вопросам. Количество научных разделов в машине и широта охвата ею материала определяются, очевидно, логическими возможностями и, в первую очередь, объемом ее памяти. Далее вся вновь поступающая научная литература по вопросам, которые находятся в сфере «компетенции» машины, подается в ее устройства ввода. Здесь осуществляется автоматическое чтение текста, его автоматический перевод на «родной» машине язык и кодирование в цифровой форме. После этого информация поступает в машину и сличается с уже записанной в ее блоках памяти. Если оказывается, что во вновь поступивших материалах не имеется никакой новой информации по сравнению с той, которая уже содержится, то эти материалы не фиксируются в памяти машины. Новая же информация систематизируется и записывается в виде дополнений к уже имеющимся в машине сведениям.

Обращение к машине может осуществляться путем запроса ее по определенному коду, который соответствует интересующему нас разделу знаний или конкретному объекту информации. При этом машина выдает через свои органы вывода в виде текста на бланке или в устном виде исчерпывающую справку по данному вопросу, иллюстрируя ее чертежами на экране телевизионной трубки. Для получения справки не обязательно находиться возле информационной машины. Ее абоненты могут быть связаны с машиной при помощи специальных или телефонных линий. При этом у абонента должен иметься пульт набора запросного кода и устройство для воспроизведения поступающей из машины информации. Будущие машины или комплексы машин подобного типа можно назвать информаториями, телебиблиотеками, телеархивами.

Все технические задачи, связанные с созданием таких машин, в принципе разрешены. Существуют устройства для автоматического считывания текстов, автоматического перевода, записи, хранения, обработки и воспроизведения информации. Однако практическая реализация идеи подобных информаториев еще далека от осуществления. Современные устройства автоматического чтения и перевода весьма несовершенны, сложны и до́роги и имеют больше познавательную, чем практическую ценность. Поэтому на первом

этапе создания информационных машин ввод информации в них будет, очевидно, производиться оператором вручную.

Однако самым важным препятствием при создании информаториев является отсутствие в настоящее время достаточно емких оперативных запоминающих устройств с гибкой адресной организацией, приспособленной для выполнения особых задач, стоящих перед ними. Дело в том, что существующие блоки оперативной памяти имеют емкость порядка десятков тысяч или, в лучшем случае, сотен тысяч слов, тогда как информационные машины должны иметь объем памяти, измеряемый по крайней мере десятками — сотнями миллионов слов и более. В идеале емкость памяти таких машин должна значительно превосходить память человека, которая оценивается объемом в миллиарды и сотни миллиардов слов.

Далее, для того чтобы при вводе информации машина сама могла классифицировать ее по содержанию, а при воспроизведении отыскивать требуемые объекты информации по определенным признакам, желательно, а иногда и насущно необходимо, иметь в информационных машинах блоки памяти с поиском информации не по адресу, а по содержанию, получившие название ассоциативных запоминающих устройств. Если обычную адресную систему поиска информации в памяти можно уподобить поискам адресата по названию улицы, номера дома и номера квартиры, то ассоциативная система подобна поиску адресата по его внешним признакам (полу, росту, цвету волос и т. п.).

Рассмотрим принципы построения простейших ассоциативных запоминающих устройств или, точнее, запоминающих устройств с поиском по содержанию, по признакам. Предположим, что в памяти имеется m так называемых полей, соответствующих m объектам информации. Каждое поле содержит n слов, определяющих признаки этих объектов. Для отыскания объекта информации нужно найти то поле, в котором определенное количество признаков, введенных в ассоциативное запоминающее устройство, совпадает с признаками, записанными в поле.

Помимо справочно-информационных и библиографических устройств, подобное устройство может быть применено, например, в диагностических машинах, которые должны выдавать диагноз заболевания по сумме признаков (симптомов), характеризующих состояние организма. Аналогично могут работать автоматические определители химических соединений, геологических пород, растений и т. п. Такие определители по комбинации отдельных признаков должны выдавать наименование соответствующего этим признакам объекта информации.

Наконец, задача отыскания объекта информации может быть дополнена выдачей некоторой сопутствующей информации. Например, диагностическая машина наряду с диагнозом может выдавать рекомендации о лечении больного.

Один из вариантов блок-схемы ассоциативного запоминающего устройства приведен на рис. 43. Признаки, предназначенные для поиска объекта информации, вводятся в устройство набора признаков, связанное с соответствующими этим признакам полями в блоке ассоциативной памяти. При совпадении признаков, записанных в некотором поле, с заданными устройство управления обеспечивает поступление в устройство вывода наименования отысканного объекта информации. Одновременно устройство управления включает

адресную систему блока сопутствующей информации, который выдает в устройство вывода дополнительную информацию, характеризующую данный объект.

Процесс поиска объекта информации в описанном устройстве включает, очевидно, следующие операции.

1. Сравнение вводимых признаков с признаками, записанными в полях объектов информации. При этом последние должны сохраняться, для чего необходимо, чтобы в блоке ассоциативной памяти осуществлялось так называемое неразрушающее считывание информации.

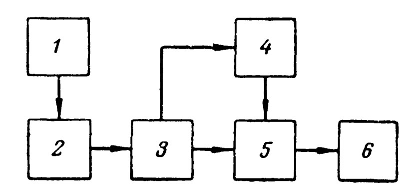


Рис. 43. Блок-схема ассоциативного запоминающего устройства.

1 — устройство набора признаков; *2* — блок ассоциативной памяти; *3* — устройство управления; *4* — адресная система; *5* — блок сопутствующей информации; *6* — устройство вывода.

2. Определение объекта информации на основании совпадения введенных признаков с признаками, записанными в соответствующем этому объекту поле.

3. Неразрушающее считывание и вывод наименования выявленного объекта и сопутствующей ему информации.

В разработанных уже различных вариантах ассоциативных запоминающих устройств в качестве носителя информации использованы перфокарты, конденсаторные матрицы, магнитные элементы (сердечники, трансфлюксоры или биаксы), криогенные элементы. Дальнейшая разработка блоков ассоциативной памяти большой емкости является одной из важнейших предпосылок создания новых информационно-логических машин различного назначения.

Управление народным хозяйством. Важнейшей задачей кибернетики, как науки об управлении, является разработка методов оптимального управления и построения управляющих систем. Наряду с техническими и биологическими управляющими системами, все бо́льшую роль приобретает применение методов кибернетики в процессах управления плановым народным хозяйством нашей страны.

Основными направлениями применения кибернетики в народном хозяйстве являются: 1) применение кибернетических методов в планово-экономических расчетах и 2) применение кибернетической техники для сбора и обработки статистических данных и другой экономической информации.

Применяя точные математические методы решения экономических проблем, можно добиться оптимального распределения усилий

и средств, вкладываемых в различные отрасли народного хозяйства, и получения максимального экономического эффекта.

Одним из путей решения подобных задач является так называемый метод линейного программирования, основы которого были заложены еще в 1939 г. работами советского ученого Л. В. Канторовича. Линейное программирование позволяет математическим путем находить оптимальное значение некоторой величины, которой оценивается исследуемый процесс, и которая линейно зависит от большого числа различных факторов.

Типичным примером применения методов линейного программирования являются транспортные задачи, связанные с планированием перевозок, обеспечивающим минимальные транспортные расходы, задачи по оптимальному раскрою материала (кожи, листовой стали, тканей), задачи по оптимальному распределению загрузки станочного парка и др. Решение задач из области линейного программирования требует выполнения большого количества относительно несложных, но весьма трудоемких расчетов. Поэтому успешная практическая реализация этих методов тесно связана с широким использованием современных быстродействующих вычислительных машин.

Огромные выгоды может принести и уже приносит внедрение новейшей вычислительной техники в сферу учета и статистики, в организацию материально-технического снабжения, в кредитно-финансовую систему, в сферу торговли, в управление транспортом и т. п.

В условиях социалистической плановой экономики и централизованного управления народным хозяйством открываются исключительно благоприятные перспективы создания единой государственной сети кибернетических и вычислительных центров, связанных между собой каналами, обеспечивающими непрерывную циркуляцию потоков информации от предприятий к совнархозам и плановым органам и управляющей информации от руководящих хозяйственных органов к предприятиям. Такое использование кибернетической теории и техники является весьма важным фактором в улучшении организации и управления народным хозяйством страны, ускоряющим темпы нашего движения к коммунизму.

«Играющие» машины. Одним из новых разделов математики, тесно связанным с кибернетикой, является так называемая теория игр. Основоположником ее является один из крупнейших математиков современности Дж. Нейман.

Развилась теория игр на базе изучения таких общеизвестных игр, как шахматы, шашки, карточные игры, домино и др. Однако в дальнейшем оказалось возможным распространить ее положения на различные ситуации в народном хозяйстве и военном деле, которые носят характер, близкий к игровому.

По сути дела теория игр представляет собой теорию планирования поведения сторон, направленного на достижение намеченного результата. Так как теория игр используется для определения оптимального образа действий в некоторых ситуациях, то ее можно считать до известной степени ветвью линейного программирования.

Не вдаваясь в дальнейшие подробности основ теории игр, рассмотрим простейший пример возможности применения кибернетических машин для оценки некоторой ситуации, например для оцен-

ки положения при игре в шашки или шахматы и для выбора одного из соответствующих данному положению разумных ходов.

Задача эта не является однозначной. Например, нельзя узнать наилучший ход, которым нужно начинать шахматную партию, так как нельзя заранее предвидеть течение игры, зависящее не только от нас, но и от нашего противника. Однако при любой ситуации можно указать несколько относительно хороших ходов и в то же время ряд заведомо плохих ходов, приводящих к потере фигур или резкому ухудшению их расстановки.

Для оценки позиции при автоматической игре в шахматы применяется численная оценка стоимости фигур и их расположения, например, по следующей шкале: король — 200, ферзь — 9, ладья — 5, слон — 3, конь — 3, пешка в обычных условиях — 1, отставшая — 0,5, изолированная — 0,4, сдвоенная — 0,3, подвижность — 0,1 (под подвижностью понимается количество свободных полей для передвижения наиболее сильных фигур). Общая ситуация оценивается разностью суммарных оценок обеих сторон. Хорошими ходами считаются такие, которые обеспечивают получение наибольшей положительной разности оценок в пользу играющего. При выборе хода машина перебирает множество возможных вариантов своих ходов и ответов противника на несколько ходов вперед. Практически сейчас машине удается при игре в шахматы просматривать все возможные варианты лишь на два-три хода вперед, ибо с увеличением количества ходов количество возможных вариантов растет настолько быстро, что даже при всем своем быстродействии машина, просматривающая все возможные варианты, в том числе и совершенно нелепые с точки зрения шахматиста, попадает в жесточайший «цейтнот».

Из сказанного ясно, что «видя» всего на два-три хода вперед, машина не может овладеть стратегией шахматной партии и, следовательно, «играет» весьма и весьма посредственно — на уровне начинающего шахматиста. Поэтому неверными являются некоторые появившиеся в зарубежной печати сообщения рекламного характера о том, что электронные машины уже сейчас обыгрывают в шахматы даже мастеров. Конечно, в дальнейшем по мере совершенствования методов программирования шахматной игры будет повышаться и «квалификация» машин-шахматистов.

Значительно полезнее оказывается машина в шахматном окончании, когда количество фигур на доске невелико и, таким образом, резко снижается количество возможных вариантов. Неплохо могут решаться на машине также двух-трехходовые задачи.

Хотя в настоящее время машинная игра в шахматы и не дает серьезных положительных результатов, однако интенсивная работа над ее программированием продолжается и привлекает серьезное внимание шахматистов и ученых. Дело в том, что методы, разработанные и проверенные для игры в шашки, шахматы и другие игры, могут быть использованы и для многих практических целей, таких, например, как планирование производственных процессов и военных операций.

Обучающие машины. Если рассматривать процесс обучения с чисто кибернетической точки зрения, то роль преподавателя можно определить как управление процессом приобретения знаний обучаемыми. При этом, как и в любом процессе управления, очень важным условием повышения его качества является наличие обратной

связи от объекта управления (обучаемого) к управляющему (преподавателю).

В средней школе эта обратная связь осуществляется систематическими опросами и проверкой домашних заданий, в результате чего учитель, хотя и с некоторым запозданием, получает информацию (далеко не исчерпывающую) об усвоении предмета учащимися. Это дает возможность учителю корректировать учебный процесс, повторить плохо усвоенный материал, изменить темп изложения, варьировать методику изложения тех или иных разделов и т. д.

В высших же учебных заведениях, где учебный процесс, особенно на старших курсах, зиждется в основном на лекционном методе, систематическая обратная связь отсутствует и преподаватель узнает о степени усвоения материала лишь на экзамене — в конце семестра или учебного года, когда какие-либо корректировки курса для данного потока студентов оказываются уже невозможными. Независимо от понимания преподавателем этого обстоятельства он не в состоянии наладить систематическую обратную связь от десятков, а зачастую и сотен студентов, слушающих его лекции, и в лучшем случае ограничивается эпизодическими беседами с немногими студентами, а в худшем случае вообще знакомится с ними лишь на экзаменах.

Между тем успехи в развитии современной кибернетической техники обеспечивают принципиальную возможность существенного улучшения двустороннего контакта между обучающим и обучающимся через посредство так называемых обучающих машин. При этом роль преподавателя не только не снижается, а значительно возрастает, но центр тяжести его работы переносится на глубокую и кропотливую работу по созданию так называемых программированных учебников и других учебно-методических материалов, которые позволяли бы в дальнейшем осуществить усвоение нового материала студентами, закрепление этого материала и проверку знаний в процессе общения студентов с обучающими машинами.

Создание кибернетических обучающих машин, которые удовлетворяли бы всем требованиям педагогического процесса, является весьма сложной задачей, которая при современном уровне кибернетической техники пока еще неразрешима, особенно если учесть необходимость массового изготовления подобных машин. Для этого требуется еще бóльшая работа по созданию соответствующих логических схем, устройств ввода непосредственно с рукописного или печатного текста и с голоса, распознаванию образов, разработка весьма сложных программ и т. д.

Однако частичное решение задачи автоматизации обучения может быть достигнуто уже сейчас путем использования относительно простых и дешевых обучающих машин, предназначенных для проверки готовности студентов к выполнению лабораторных работ, предварительной предэкзаменационной проверки, самоконтроля учащихся и т. п.

В качестве примера рассмотрим одну из таких машин, разработанную в Московском энергетическом институте и получившую название «Экзаменатор». При помощи этой машины студенту задается ряд вопросов, сопровождающихся несколькими пронумерованными взаимоисключающими ответами, из которых только один является правильным. Студент должен выбрать правильный ответ и нажать

кнопку, соответствующую его номеру. После ответа на все заданные вопросы машина в зависимости от относительного количества правильных ответов выставляет студенту оценку.

Информация хранится в машине на кадрах кинопленки, склеенной в кольцо, которое содержит несколько десятков или даже сотен отдельных кадров. Часть кадра проецируется на небольшой

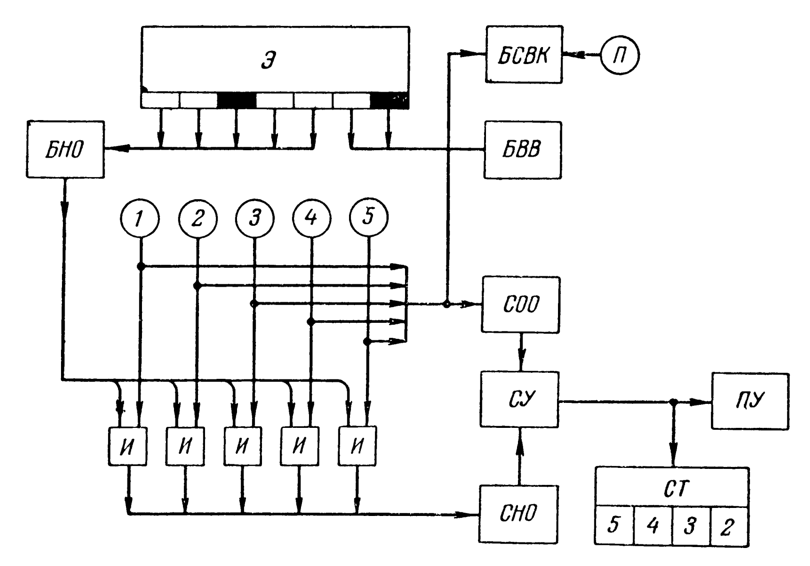


Рис. 44. Блок-схема автомата «Экзаменатор».

экран машины. На этой части кадра записан вопрос и пять ответов на этот вопрос. В нижней части кадра, не проецируемой на экран, имеется полоса, разделенная на семь белых или черных частей — прямоугольников. Первые пять прямоугольников предназначаются для кодирования номера правильного ответа, а два прямоугольника — для кодирования времени, предоставляемого на обдумывание ответа (в зависимости от степени сложности вопроса).

Блок-схема автомата «Экзаменатор» приведена на рис. 44. При нажатии кнопки пуска *П* блок случайного выбора кадра *БСВК* включает на некоторое, меняющееся каждый раз, время лентопротяжный механизм. После остановки кадра его кодовая часть проецируется на набор фотоэлементов блока номера ответа *БНО* и выдержки времени *БВВ*.

После обдумывания ответа студент нажимает одну из пронумерованных кнопок, причем сигнал от нее поступает, во-первых, на счетчик общего количества ответов *СОО* и, во-вторых, в соответствующую схему совпадения *И*, которая устанавливает правильность ответа, т. е. соответствие номера нажатой кнопки номеру, зафиксированному блоком *БНО*. Если ответ неправилен, то срабатывает также счетчик неправильных ответов *СНО*.

После каждого нажатия кнопки студентом, а также по истечении времени на обдумывание автоматически включается *БСВК* и на экране проецируется кадр с новым вопросом и ответами. Если смена кадра происходит из-за просрочки времени студентом, не нажавшим ни одной кнопки, то счетчик *СНО* срабатывает, как при неверном ответе.

По окончании ответов на заданную серию вопросов срабатывает сравнивающее устройство *СУ*, которое определяет общую оценку в зависимости от соотношения числа неправильных ответов и общего числа ответов. Соответствующая оценка в цифровой форме воспроизводится на световом табло *СТ* и одновременно может быть поставлена в зачетную книжку студента перфорационным устройством *ПУ*. Все автоматы, расположенные в классе программированного обучения, могут быть соединены со специальным пультом преподавателя, на табло которого повторяются оценки, полученные студентами при опросе их машиной.

Здесь рассмотрен один вариант относительно простого обучающего автомата, выполняющего контрольные функции. За последние годы в высших учебных заведениях, техникумах и средних школах только нашей страны разработаны сотни вариантов обучающих устройств и машин различного назначения и различной степени сложности.

Если дооборудовать специальными устройствами ввода и пультами управления универсальную электронную цифровую машину, то она может обеспечить обучение и контроль по достаточно сложной программе десятков и даже сотен студентов.

16. САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ

Одним из существенных недостатков все более широко используемых в настоящее время кибернетических устройств является то, что они могут успешно работать только по относительно жесткой программе, составляемой заранее человеком. Если же при управлении некоторым процессом возникает не предусмотренная заранее программой ситуация, то подобное кибернетическое устройство не может далее успешно выполнять управляющие функции и либо прекращает процесс, либо предоставляет ему развиваться стихийно, либо, наконец, продолжает управление, не учитывая этой вновь возникающей ситуации. Все эти случаи могут закончиться в худшем случае аварией, а в лучшем случае — процесс развивается далеко не оптимальным путем.

Поэтому в последние годы весьма большое внимание уделяется разработке машин, способных воспринимать и классифицировать информацию, поступающую в них из внешней среды и «самостоятельно» разрабатывать для себя программы переработки информации, оценивая эффективность этих программ по конечным результатам и запоминая оптимальные программы для дальнейшего использования в аналогичных ситуациях.

Подобные системы получили название самоорганизующихся систем. Первой, простейшей ступенью самоорганизации является так называемая самонастройка. Самонастраивающиеся системы в отличие от обычных систем, осуществляющих регулирование какого-либо процесса по строго определенному закону, предназначаются для реализации более сложных процессов управления, требующих авто-

матического самоизменения закона регулирования. Чаще всего самонастраивающиеся системы предназначаются для автоматизации поиска экстремальных (максимальных или минимальных) значений некоторого параметра управляемого процесса (скорости, давления, температуры и т. п.). При этом каждый раз при изменении условий протекания процесса система заново производит поиск, приспосабливаясь к новым условиям работы.

На более высокой ступени организации стоят обучаемые системы, характерной особенностью которых является наличие памяти, позволяющей им не только отыскивать, но и запоминать наиболее выгодные режимы работы, соответствующие некоторым ситуациям. При повторном возникновении такой же ситуации обучаемая система, уже обладающая «опытом» поведения, может сразу выбрать этот «запомненный» уже ею выгодный режим работы.

В отличие от самонастраивающихся систем самообучающиеся системы часто в начале своей работы оказываются совершенно неспособными осуществлять функции управления. Однако существуют и такие обучающиеся системы, в которые при их конструировании уже заложены определенные правила поведения, а в дальнейшем, в процессе работы, они как бы «доучиваются», исследуя управляемые объекты и процессы и вырабатывая усовершенствованные методы управления.

Наконец, наиболее высокой степенью самоорганизации характеризуются системы, которые не только запоминают более совершенную программу управления, но и перестраивают в соответствии с условиями и задачами управления свою собственную структуру. Очевидно, что в таких системах связи между элементами, воспринимающими информацию, элементами памяти, логическими и исполнительными элементами не должны быть заранее жестко предопределены, а должны устанавливаться в результате приспособления к условиям работы. Системы подобного рода и являются в полном смысле этого слова самоорганизующимися системами.

Обучаемые машины. Простыми и интересными примерами обучаемых машин являются созданные в конце 50-х годов относительно примитивные устройства, оформленные зачастую для занимательности в виде животных и способные как бы приобретать и накапливать некоторый «жизненный» опыт, как бы способные «обучаться». К таким машинам относятся «мышь в лабиринте», созданная одним из основоположников теории информации Шенноном, «черепаха», разработанная английским физиологом Уолтером, «белка» Беркли, «лисица» Дюкрока и др. Особенно популярны «мышь в лабиринте» и «черепаха», неоднократно повторенные с некоторыми изменениями различными конструкторами. В частности, в Институте автоматики и телемеханики Академии наук СССР В. И. Ивановым сконструирован лабиринт для мыши, а Р. Р. Васильевым — макет «черепахи». Опишем коротко поведение «мыши» Шеннона и «черепахи» Уолтера в их первоначальных конструкциях.

«Мышь» представляет собой тележку с приводом, которую пускают в лабиринт из 25 квадратов (рис. 45), образуемый при помощи съемных перегородок. «Мышь» двигается по лабиринту ощупью, наталкиваясь на перегородки, и, в конце концов, после длительных блужданий достигает «приманки» в виде специального контакта, помещенного в последнем квадрате лабиринта. Однако, будучи пущенной в лабиринт вторично, «мышь» движется к «при-

манке» по кратчайшему пути, не заходя ни в какие тупики, т. е. как бы «научившись» ориентироваться в лабиринте.

В действительности эта задача решается на основании относительно простой программы, введенной в машину. У «мыши» имеются два щупа-контакта: передний и левый. В соответствии с заданной программой «мышь» все время движется прямолинейно, касаясь стенки левым щупом. При потере контакта она сворачивает налево и продолжает двигаться таким образом, пока не упрется в преграду передним щупом. Тогда она сворачивает направо, опять двигается, касаясь левым щупом стенки и т. д. Ее путь фиксируется специальным релейным запоминающим устройством, и если она в какой-либо коридор входила и выходила, а это означает, что в нем нет «приманки», то при повторном опыте вход в этот коридор блокируется — запрещается.

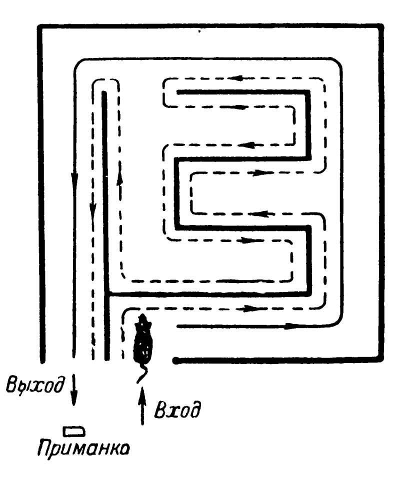


Рис. 45. «Мышь» Шеннона в лабиринте.

Описанная модель была создана Шенноном как прообраз предложенной Винером ускоренной системы соединений часто разговаривающих между собой абонентов автоматической телефонной станции.

«Черепаха» Уолтера моделирует некоторые черты поведения живого организма и представляет собой устройство на колесиках, заключенное в корпус, напоминающий по форме утюг. «Черепаха» снабжена аккумуляторной батареей, двумя электродвигателями, один из которых сообщает ей поступательное, а второй вращательное движение, и двумя приспособлениями, играющими роль «чувствительных органов» — рецепторов. Одним из рецепторов является фотоэлемент, реагирующий на источник света, вторым — специально сконструированный контакт, замыкающийся при встрече «черепахи» с препятствием или при движении ее по крутому скату. Спереди «черепахи» расположена контрольная лампочка, сигнализирующая включенное состояние и в то же время исполняющая как бы роль фары.

Находясь в темноте, «черепаха» в поисках источника света двигается по сложной траектории, обследуя в час несколько десятков квадратных метров поверхности. При встрече с препятствиями она обходит тяжелые предметы и сталкивает со своего пути легкие препятствия. Она избегает движения по крутым склонам и подъемам, стремясь выбирать для движения горизонтальную поверхность. При появлении в пределах «видимости» «черепахи» источника света она движется на него, однако если этот источник слишком ярок, то «ослепленная» «черепаха» отворачивается и начинает поиски другого, умеренно яркого источника. При встрече с зерка-

лом «черепаха» как бы узнает себя и двигается перед зеркалом по сложной траектории, то подходя к зеркалу, то удаляясь от него.

Если выпустить одновременно несколько «черепах», то при лобовом сближении они отворачиваются друг от друга и, разминувшись, продолжают движение. При столкновениях «черепах» они реагируют одна на другую как на обычное препятствие. При появлении источника света все «черепахи» направляются к нему «толпой», расталкивая друг друга. Если осветить «клетку» «черепахи», то она заходит туда, причем если батарея нуждается в заряде, «черепаха» подключается к источнику зарядного тока и остается неподвижной до окончания заряда, после чего отключается, гасит за собой свет в клетке и вновь уходит на поиски.

Впоследствии устройство было еще усложнено для моделирования образования в живом организме условного рефлекса, причем в качестве безусловного раздражителя использовался свет, воспринимавшийся фотоэлементом, а как условный сопутствующий раздражитель — звук, воспринимавшийся микрофоном. Модель ведет себя следующим образом. Она всегда приходит в движение под действием света, движется, следовательно, и при одновременном воздействии света и звука и никак не реагирует на один только звук. Однако если повторить, скажем, десять опытов, одновременно «показывая» «черепахе» свет и издавая звук, то после этого «черепаха» будет приходить в движение и при одном только звуке. Но если затем в течение определенного времени или определенного количества опытов не подкреплять звук светом, то образовавшаяся временная связь исчезнет, «условный рефлекс» угаснет.

Приведенное описание «поведения» «черепахи» может вызвать предположение об исключительной сложности ее схемы. Однако схема ее оказывается весьма простой, хотя простота эта была достигнута в результате долгих и настойчивых поисков наиболее целесообразного решения задачи.

Модели, подобные «черепахе», представляют интерес для инженеров, работающих в области автоматизации, как прообраз машин, приспосабливающихся к окружающей обстановке, и для физиологов как средство изучения некоторых процессов поведения живых организмов методами моделирования. Правда, описанные модели весьма примитивны и далеки от того, чтобы воспроизвести всю сложность процессов живого организма. Однако в дальнейшем были созданы значительно более сложные модели, ближе воспроизводящие истинные физиологические процессы.

Перцептроны. Одной из наиболее интересных самоорганизующихся систем является самоорганизующееся опознающее устройство, разработанное в Корнельской лаборатории (США) и получившее название перцептрона «Марк-1».

Вообще перцептронами (от слова перцепция — восприятие) называют класс автоматов, предназначенных для восприятия и опознавания зрительных, слуховых и других образов. Существенный интерес представляют также перцептроны, способные распознавать объекты, недоступные непосредственному восприятию человека, такие, как источники инфракрасного излучения, радиочастотных и ультразвуковых колебаний. Применение перцептронов помогает существенному упрощению ввода информации в машины непосредственно в виде изображений, текстов, голосовых команд и т. п.

Простейший способ опознания некоторых изображений, например букв и цифр, может сводиться к простому сличению их с образцами при помощи, скажем, заранее заготовленных трафаретов. В более совершенных опознающих устройствах используются различные способы развертки изображения, подобные телевизионным, в результате чего получаются определенным образом закодированные сигналы, которые могут сравниваться с образцовыми кодами.

Еще более гибкими являются обучаемые самоорганизующиеся

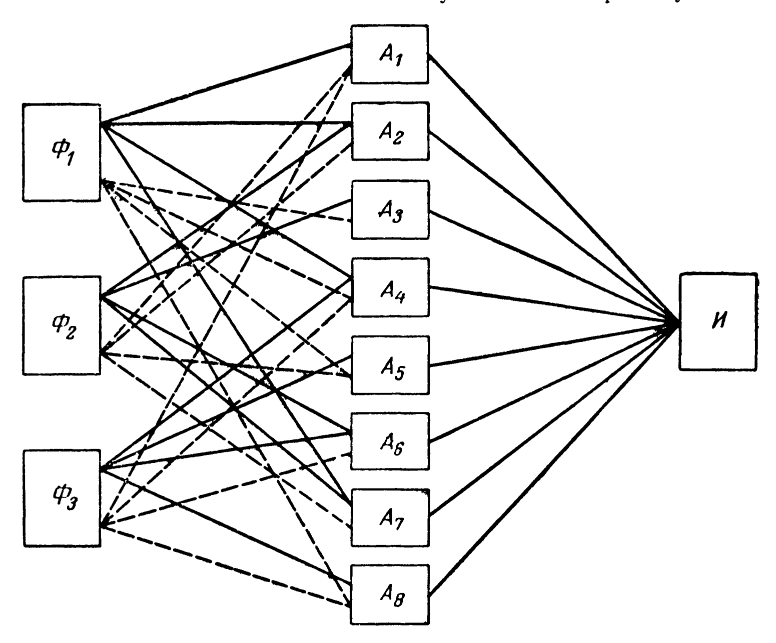


Рис. 46. Схема, поясняющая принцип действия перцептрона.
Ф — фотоэлемент; *А* — ассоциирующие ячейки; *И*—исполнительная ячейка.

системы, которые могут быть в принципе обучены распознаванию любых ситуаций и объектов. В качестве примера подобной системы и рассмотрим перцептрон «Марк-1».

На рис. 46 в предельно упрощенном виде показана модель перцептрона с тремя воспринимающими фотоэлементами, восемью ассоциирующими и одной исполнительной ячейкой.

При освещении фотоэлемента на одном из его выходов появляется положительный, а на другом отрицательный сигнал. Эти выходы случайно, беспорядочно соединены с ассоциирующими ячейками, которые работают следующим образом. Если алгебраическая сумма сигналов, поступающих в некоторую ассоциирующую ячейку, положительна и превышает некоторую пороговую величину, то ячейка выдает сигнал в исполнительную ячейку. Если суммарное значение сигналов, поступающих в исполнительную ячейку, превы-

шает заранее установленное пороговое значение, то она в свою очередь срабатывает.

Так как монтаж схемы перцептрона осуществлен по случайному закону, то при показе некоторого изображения исполнительная ячейка может сработать или не сработать. Оператор, занимающийся обучением перцептрона, изменяет случайно характеристические параметры ассоциирующих ячеек, пока перцептрон не станет желательным образом реагировать на показ ему опознаваемого образа. Так же устроена схема перцептрона, рассчитанного на опознавание нескольких объектов. У него имеется общее поле фотоэлементов, общая сеть ассоциирующих ячеек и отдельные, соответствующие каждому опознаваемому объекту, исполнительные ячейки. После некоторого периода обучения перцептрон в дальнейшем может «самостоятельно» опознавать объекты, на которых его обучали.

17. БИОНИЧЕСКИЕ ПУТИ РАЗРАБОТКИ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

За истекшее двадцатилетие развития кибернетической техники достигнуты огромные успехи в разработке, конструировании и производстве кибернетических машин самого разнообразного назначения. Если первые образцы машин характеризовались быстродействием порядка десятков простейших операций в секунду и емкостью оперативной памяти порядка десятков слов, то в настоящее время освоено массовое производство машин, работающих со скоростью порядка десятков — сотен тысяч операций в секунду и имеющих емкость памяти порядка тысяч — десятков тысяч слов. Созданы уникальные машины, выполняющие миллионы операций в секунду при емкости оперативной памяти в сотни тысяч слов.

Однако по многим показателям кибернетические машины продолжают оставаться далеко позади человеческого мозга, ряд функций которого они призваны моделировать. Одним из важнейших недостатков машин, как уже отмечалось выше, является относительная жесткость их программы и совершенно недостаточные практические результаты, которые достигнуты до настоящего времени в области создания действительно полезных и работоспособных самоорганизующихся устройств. Хотя скорость выполнения человеком формально-логических операций значительно ниже, чем у машин, это существенно компенсируется у человека его способностями к тончайшему анализу и синтезу явлений и присущими нервной системе много более эффективными способами переработки информации.

Другим важным преимуществом живых организмов являются несравнимо более совершенные органы и механизмы восприятия внешней информации. Несмотря на некоторые успехи, достигнутые в конструировании квазизрительных и квазислуховых перцептронов, последние еще весьма далеки от зрительного и слухового анализаторов не только человека, но и вообще живых организмов.

Далее, неоспоримым преимуществом живых организмов по сравнению с техническими кибернетическими устройствами является значительно более высокая надежность. Если сравнить отдельно взятые технические и биологические элементы, предназначенные для обработки информации (например, электронные реле или феррито-

вые сердечники и нервные клетки — нейроны), то первые обладают значительно более высокой надежностью. Однако многокомпонентные технические системы оказываются, как правило, значительно менее надежными, чем системы управления живых организмов, которые содержат на несколько порядков большее количество элементов. Живые организмы являют собой пример высоконадежных систем, составленных из относительно малонадежных элементов.

Это достигатся особой структурой нервных сетей, значительными возможностями резервирования, обусловленными избыточностью их организации и применением избыточного кодирования информации.

Наконец, биологические управляющие системы во много раз меньше по размерам и экономичнее технических устройств.

Все эти весьма тонкие и совершенные механизмы восприятия, хранения и переработки информации, как и замечательные процессы обмена веществ и преобразования энергии выработались в живых организмах в результате многих миллионов лет эволюционного развития и естественного отбора. Исследование этих механизмов с целью использования познаний о них при разработке и конструировании разнообразных технических устройств является содержанием нового направления в науке—бионики. Таким образом, бионику можно определить как науку о создании искусственных систем, структура, функции и характеристики которых заимствованы у биологических организмов.

Элементарной структурной единицей нервной системы живых организмов является нервная клетка или нейрон. Общее количество нейронов в живых организмах высших животных определяется числом порядка 10^9—10^{10}. В упрощенной трактовке нейрон уподобляют часто двухпозиционному реле, которое может находиться в одном из двух состояний —возбужденном или заторможенном. Однако неправильно представлять себе дело таким образом, что достаточно создать кибернетическое устройство с количеством реле того же порядка, что и количество нейронов в организме, чтобы это устройство уже сравнялось по своим возможностям и характеристикам с живыми организмами.

Замечательные специфические характеристики нервных систем и процессов в живых организмах определяются не только и не столько количеством нейронов, сколько неизмеримо бо́льшими возможностями нейрона по сравнению с реле, что обусловлено его сложнейшей и тончайшей организацией. Этим объясняется то огромное внимание, которое в бионике уделяется вопросам изучения и математического, и технического моделирования нейронов как прообразов основных структурных элементов кибернетических машин будущего.

В соответствии с данными нейрофизиологии, простейшая модель нейрона (рис. 47) должна воспроизводить следующие его особенности:

1. Схема модели должна иметь множество (n) входов, на которые могут в различной временно́й последовательности поступать сигналы p_1, p_2, . . ., p_n.

2. Эти сигналы воздействуют на тело нейрона через синаптические контакты, причем степень влияния сигналов на состояние

нейрона неодинакова и характеризуется так называемым весом входа или синаптическим числом $S_1, S_2, \ldots, S_n$.

3. В синаптических контактах происходит задержка сигнала на некоторое время τ.

4. Воздействие на тело нейрона некоторого i-го входа количественно характеризуется произведением $p_i S_i$.

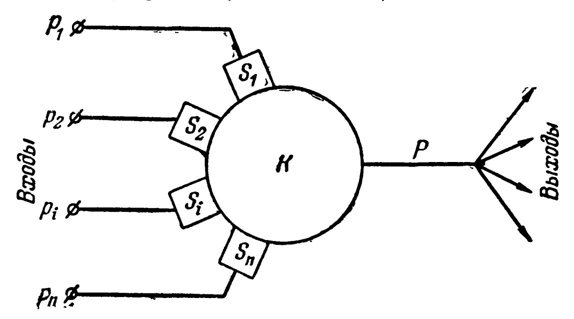


Рис. 47. Схематическая модель нейрона.

5. Результирующее воздействие на нейрон определяется суммой воздействий от всех n входов (суммация в пространстве) и предысторией, т. е. предшествующими воздействиями с учетом их затухания по экспоненциальному закону с некоторой постоянной времени τ (суммация во времени).

6. Модель нейрона должна сработать (возбудиться) лишь в том случае, если суммарное воздействие на него превысит некоторое пороговое значение K.

7. При срабатывании на разветвленных выходах нейрона должен появиться импульс P с некоторой стандартной амплитудой и длительностью.

В настоящее время построено огромное количество разнообразных моделей нейронов на электромеханических реле и лампах, транзисторах и туннельных диодах, ферритовых сердечниках и пленках и т. п. Все они пока более или менее примитивно воспроизводят характеристики естественных нейронов, которые являются сложнейшими системами, способными к накоплению больших объемов информации и выполнению достаточно сложных логических функций.

Дальнейшими задачами бионики являются раскрытие механизмов исключительно помехоустойчивого кодирования информации в живых организмах, моделирование техническими средствами памяти и анализаторов живых организмов, построение высоконадежных систем обработки информации на базе изучения методов, которыми достигается надежность в живых организмах и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

Популярная литература

Полетаев И. А., Сигнал, «Советское радио», 1958.

Теплов Л. И., Очерки о кибернетике, «Московский рабочий», 1963.

Вершинин Н. И., Верцайзер А. Л., Яковлев В. М, Автоматическое регулирование, Госэнергоиздат, 1959.

Наслэн П., Основы цифровой вычислительной техники, Госэнергоиздат, 1962.

Гутенмахер Л. И., Электронные информационно-логические машины, изд. АН СССР, 1962.

Крайзмер Л. П., Бионика, Госэнергоиздат, 1962.

Ровенский З. И., Уемов А. И., Уемова Е. А., Машина и мысль, Госполитиздат, 1960.

Гончаренко М. Н., Кибернетика в военном деле, изд. ДОСААФ, 1963.

Возможное и невозможное в кибернетике, Сборник статей под ред. акад. А. Берга и Э. Кольмана, изд. АН СССР, 1963.

Для подготовленных читателей

Кибернетику на службу коммунизму, Сборник статей под ред. акад. А. И. Берга, Госэнергоиздат, 1961.

Винер Н., Кибернетика, «Советское радио», 1958.

Ивахненко А. Г., Техническая кибернетика, Гостехиздат УССР, 1959.

Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, Физматгиз, 1959.

Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, Физматгиз, 1961.

Крайзмер Л. П., Устройства хранения дискретной информации, Госэнергоиздат, 1961.

Сочивко В. П., Электронные опознающие устройства, изд-во «Энергия», 1964.

Гитис Э. И., Электрорадиоавтоматика, Госэнергоиздат, 1959.

Бриллюэн Л., Наука и теория информации, Физматгиз, 1960.

Яглом А. М., Яглом И. М., Вероятность и информация, Физматгиз, 1960.

Якубайтис Э. А., Основы технической кибернетики, изд. АН Латвийской ССР, 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 26 коп.